



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA DE
ASEGURAMIENTO METROLÓGICO CONFORME A LA
NORMA NTE, ISO 10012:2007 PARA EL LABORATORIO
DE CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE LONGITUD
INEN.”**

VICENTE LAGUNA SEBASTIÁN CRISTÓBAL

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

RIOBAMBA – ECUADOR

2013

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

Abril 11, de 2013

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

SEBASTIÁN CRISTÓBAL VICENTE LAGUNA

Titulada:

**“ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA DE ASEGURAMIENTO
METROLÓGICO CONFORME A LA NORMA NTE, ISO 10012:2007
PARA EL LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS
DE LONGITUD INEN.”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Carlos Santillán
DIRECTOR DE TESIS

Ing. José Pérez
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: SEBASTIÁN CRISTÓBAL VICENTE
LAGUNA

TÍTULO DE LA TESIS: “ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA DE
ASEGURAMIENTO METROLÓGICO CONFORME A LA NORMA
NTE, ISO 10012:2007 PARA EL LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE
INSTRUMENTOS DE LONGITUD INEN.”

Fecha de Examinación: Abril 11, de 2013.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Gloria Miño Cascante. MDE (PRESIDENTA TRIB. DEFENSA)			
Ing. Carlos Santillán (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. José Pérez (ASESOR)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

La Presidenta del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Gloria Miño Cascante. MDE
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

CERTIFICACIÓN

Ing. CARLOS SANTILLÁN, Ing. JOSÉ PÉREZ, en su orden Director y Asesor del Tribunal de Tesis de Grado desarrollado por el señor Egresado: **VICENTE LAGUNA SEBASTIÁN CRISTÓBAL**

CERTIFICAN

Que luego de revisada la Tesis de Grado en su totalidad, se encuentra que cumple con las exigencias académicas de la Escuela de Ingeniería Industrial, carrera INGENIERÍA INDUSTRIAL, por lo tanto autorizamos su presentación y defensa.

Ing. Carlos Santillán

DIRECTOR DE TESIS

Ing. José Pérez

ASESOR DE TESIS

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Sebastián Cristóbal Vicente Laguna

AGRADECIMIENTO

Un sincero agradecimiento a Dios que siempre me ha dado la fuerza para seguir adelante, a mis padres por haberme brindado su apoyo incondicional para poder cumplir con mis metas y objetivos planteados, a mis hermanos les agradezco por estar siempre ahí con su apoyo.

El más sincero agradecimiento a la escuela superior Politécnica de Chimborazo en especial a la Escuela de Ingeniería Industrial por haberme recibido en sus aulas y darme la oportunidad de ser un buen profesional con valores éticos y morales.

Al Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) por el apoyo brindado para la culminación de este proyecto.

Sebastián Cristóbal Vicente Laguna

DEDICATORIA

Dedicado con mucho amor y sacrificio a Dios a mis padres Enita y Cristóbal por enseñarme que con esfuerzo y de dedicación todo es posible gracias por ser los mejores padres del mundo, a mi hermano Rommel por siempre estar ahí en las buenas y en las malas como amigo y compañero en mi vida estudiantil, a mis hermanas Cari y Silvi por todo su apoyo, al amor de mi vida Gabi por brindarme su amor y su apoyo en los momentos más difíciles, a mis compañeros de clase a todos por ser partícipes para poder culminar con éxito esta etapa de mi formación profesional

Sebastián Cristóbal Vicente Laguna

CONTENIDO

Pág.

1.	INTRODUCCIÓN	
1.1	Antecedentes	1
1.2	Justificación	3
1.3	Objetivos	4
1.3.1	Objetivo general.....	4
1.3.2	Objetivos específicos.	4
2.	MARCO TEÓRICO	
2.1	Introducción	5
2.1.1	La metrología	5
2.1.2	Clasificación de la metrología	6
2.1.2.1	Metrología científica	6
2.1.2.2	Metrología industrial o aplicada.....	6
2.1.2.3	Metrología legal	6
2.1.2.4	Metrología química	6
2.1.3	Metrología dimensional	6
2.1.4	Definición de calibración	7
2.1.5	Importancia de la calibración	7
2.1.6	Sistema internacional de unidades.....	8
2.1.7	Longitud	9
2.1.8	Historia de metro	10
2.1.8.1	Definición internacional de la unidad de medida de longitud	10
2.1.8.2	Materialización del metro.....	10
2.1.8.3	Patrones.....	10
2.1.8.4	Incertidumbres	11
2.1.8.5	Equipos de medición	12
2.2	Introducción a la norma NTE INEN–ISO 10012:2007	12
2.3	Objetivos de un sistema de aseguramiento metrológico.....	13
2.4	Términos y definiciones de la norma NTE INEN–ISO 10012:2007.....	13
2.4.1	Sistema de gestión de las mediciones.....	13
2.4.2	Proceso de medición.....	14
2.4.3	Equipo de medición.....	14
2.4.4	Característica metrológica.....	14
2.4.5	Confirmación metrológica.....	14
2.4.6	Función metrológica.....	14
2.4.7	Resolución.....	14
2.4.8	Valor de referencia	14
2.4.9	Valor verdadero.....	15
2.4.10	Desviación	15
2.4.11	Estabilidad.....	15
2.4.12	Linealidad	15
2.4.13	Unidad (de medida).....	15
2.4.14	Valor numérico (de una magnitud).....	15
2.4.15	Mensurando.....	15
2.4.16	Patrón.	15
2.4.17	Patrón internacional.....	15
2.4.18	Patrón nacional.....	16
2.4.19	Patrón primario.....	16
2.4.20	Patrón secundario.	16
2.4.21	Patrón de referencia.....	16
2.4.22	Patrón de trabajo.....	16
2.4.23	Patrón de transferencia	16

2.4.24	Exactitud de medida	16
2.4.25	Exactitud de un instrumento de medida	16
2.4.26	Precisión	17
2.4.27	Calibración	17
2.4.28	Verificación	17
2.4.29	Error (de medida)	17
2.4.30	Trazabilidad	17
2.4.31	Tolerancia	17
2.4.32	Incertidumbre de medida	17
2.4.33	Medición	17
2.4.34	Instrumento de medición	17
2.4.35	Repetibilidad (de un instrumento de medición)	17
2.4.36	Repetibilidad (de resultados de mediciones)	18
2.4.37	Error (de medida)	18
2.4.38	Clase de exactitud	18
2.5	Objeto y campo de aplicación de la norma NTE INEN–ISO 10012:2007	18
2.6	El objetivo de la norma NTE INEN–ISO 10012:2007	18
2.7	Procesos de confirmación documentados	20
2.8	Registros	20
2.9	No conformidad de un equipo de medición	21
2.10	Rotulado de confirmación	21
2.11	Intervalos de confirmación	21
2.12	Sellado para la integridad	21
2.13	Utilización de productos y servicios externos	22
2.14	Almacenamiento y manejo	22
2.15	Trazabilidad	22
2.16	Efecto acumulativo de las incertidumbres	23
2.17	Condiciones ambientales	23
2.18	Personal	23

3. REQUISITOS TÉCNICOS PARA LA APLICACIÓN DE LA NORMA

3.1	Generalidades	25
3.1.1	Determinación de las mediciones críticas e importantes	25
3.1.2	El proceso de la medición	25
3.1.3	Teoría de errores	26
3.1.4	Análisis de la incertidumbre	27
3.1.5	Expresión de la incertidumbre de una medición	27
3.1.6	El error con respecto a la incertidumbre	28
3.1.7	Importancia de la incertidumbre de medición	28
3.1.8	Análisis de la incertidumbre	29
3.1.9	Estimación de la incertidumbre	30
3.1.9.1	El mensurando	30
3.1.9.2	Modelo físico	31
3.1.9.3	Modelo matemático	31
3.1.9.4	Identificación de las fuentes de incertidumbre	31
3.1.9.5	Cuantificación	32
3.1.9.6	Incertidumbre tipo A	33
3.1.9.7	Incertidumbre tipo B	35
3.1.9.8	Coefficiente de sensibilidad	35
3.1.9.9	Determinación a partir de una relación funcional	35
3.1.9.10	Otros métodos de determinación	35
3.1.9.11	Interpretación del coeficiente de sensibilidad	36
3.2	Habilidades del operador	36
3.2.1	Competencia	36
3.3	Instalaciones y condiciones ambientales	37

3.3.1	Instalaciones	37
3.3.2	Condiciones ambientales	37
3.3.3	Efecto de la temperatura en medición	38
3.4	Características de los equipos de medición	38
3.4.1	Selección de los dispositivos de medición	38
3.4.2	Características metrológicas de los dispositivos de medición	39
3.4.2.1	Rango de medida	39
3.4.2.2	Alcance.....	39
3.4.2.3	División de escala.....	39
3.4.2.4	Exactitud.	39
3.4.2.5	Tolerancia	39
3.4.2.6	Fidelidad	40
3.4.2.7	Repetibilidad	40
3.4.2.8	Reproducibilidad	40
3.4.2.9	Desplazamiento	40
3.4.2.10	Linealidad.....	40
3.4.2.11	Sensibilidad de la medida.....	40
3.4.2.12	Sensibilidad ante perturbaciones	40
3.4.2.13	Zona muerta.....	41
3.5	Aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayos y calibraciones	41
3.6	Aseguramiento de la calidad de los resultados	42

4. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS QUE SE CALIBRAN EN EL LABORATORIO

4.1	Introducción	44
4.1.1	Clasificación de instrumentos y equipo de medición dimensional	44
4.2	Calibración	45
4.3	Calibrador o pie de rey	46
4.3.1	Generalidades sobre el calibrador o pie de rey.....	46
4.3.2	Partes de un calibrador o pie de rey.....	46
4.3.3	Usos del calibrador o pie de rey	47
4.3.4	Tipos de calibradores o pie de rey	47
4.3.4.1	Calibrador universal con carátula	47
4.3.4.2	Calibrador doble.....	48
4.3.4.3	Calibrador digital	48
4.3.4.4	Medidor de altura	49
4.3.4.5	Calibrador de profundidad.....	49
4.4	Micrómetros de exteriores	50
4.4.1	Generalidades sobre el micrómetro de exteriores	50
4.4.2	Partes de un micrómetro.....	51
4.4.3	Tipos de micrómetros.....	52
4.4.3.1	Micrómetro para medir el espesor de los tubos.....	52
4.4.3.2	Micrómetro de para la medición de papel, cartón de cuero y goma.....	53
4.4.3.3	Micrómetro oltimeter	53
4.4.3.4	Micrómetro de carátula	53
4.4.3.5	Micrómetro de interiores	54
4.5	Micrómetro de profundidades	55
4.5.1	Micrómetro de profundidad tipo varilla simple.....	55
4.5.2	Micrómetro de profundidades tipo varilla intercambiable	55
4.6	Comparadores de reloj o indicador de caratula	56
4.6.1	Aplicaciones de los comparadores de reloj):	56
4.6.2	Partes principales de un comparador de reloj	58
4.6.3	Comparador de reloj digital.....	58
4.6.4	Medidores de espesores o micrómetros para espesor de lámina	59
4.7	Reglas	60

4.7.1	Regla de acero	60
4.8	Flexómetro	61

5.	ELABORACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN PARA LOS EQUIPOS	62
5.1	Procedimiento para la calibración de calibradores tipo pie de rey	62
5.1.1	Índice para la calibración de calibradores tipo pie de rey	63
5.1.2	Objetivo para la calibración de calibradores tipo pie de rey	63
5.1.3	Alcance para la calibración de calibradores tipo pie de rey	63
5.1.4	Referencias para la calibración de calibradores tipo pie de rey	63
5.1.4.1	Documentos utilizados para la calibración de calibradores tipo pie de rey	63
5.1.4.2	Documentos a ser utilizado conjuntamente para la calibración de calibradores tipo pie de rey	63
5.1.5	Generalidades para la calibración de calibradores tipo pie de rey	64
5.1.5.2	Usos del calibrador o pie de rey	64
5.1.5.3	Designaciones y dimensiones	65
5.1.5.4	Pie de rey diseñado para medición interna, externa y profundidad	65
5.1.5.5	Pie de rey diseñado para mediciones de profundidad	68
5.1.5.6	Vernier o división de escala	68
5.1.5.7	Medición con calibrador vernier	70
5.1.5.8	Errores de medición con calibradores	71
5.1.5.9	Límites de error (Según NTE INEN 1 822).	75
5.1.6	Descripción para la calibración de calibradores tipo pie de rey	78
5.1.6.1	Equipos y materiales para la calibración de calibradores tipo pie de rey	78
5.1.6.2	Calibración de mordazas para mediciones de exteriores.	78
5.1.6.3	Calibración de mordazas para mediciones de interiores	78
5.1.6.4	Calibración de la varilla para mediciones de profundidad	79
5.1.7	Operaciones previas para la calibración de calibradores tipo pie de rey	79
5.1.7.1	Trazabilidad patrones para la calibración de calibradores tipo pie de rey	79
5.1.7.2	Condiciones ambientales para la calibración de calibradores tipo pie de rey	79
5.1.7.3	Condiciones previas para la calibración de un pie de rey	80
5.1.7.4	Proceso de calibración de pie de rey	80
5.1.8	Cálculo para la calibración de calibradores tipo pie de rey	83
5.1.8.1	Estimación de la Incertidumbre	83
5.1.9	Ejemplo para la calibración de calibradores tipo pie de rey	90
5.2	Procedimiento para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores ..	93
5.2.1	Índice para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores	93
5.2.2	Objetivo para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores	93
5.2.4	Referencia para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores	93
5.2.4.1	Documentos utilizados en la elaboración de este documento	93
5.2.4.2	Documentos a ser utilizado conjuntamente	94
5.2.5	Generales para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores	94
5.2.5.1	Generalidades sobre el micrómetro de exteriores de dos contactos	94
5.2.5.2	Medición con micrómetro sistema métrico	95
5.2.5.3	Errores de medición con micrómetros	96
5.2.5.4	Límites de error (según NTE INEN 1 821)	97
5.2.6	Descripción para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores	99
5.2.6.1	Aparatos y equipos para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores	99
5.2.7	Operaciones previas para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores.	100
5.2.7.1	Trazabilidad patrones para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores.	100
5.2.7.2	Condiciones ambientales para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores.	100

5.2.8	Proceso de calibración.....	102
5.2.8.1.	Medición de la planitud de las caras de medición	102
5.2.8.2.	Verificación del paralelismo de las caras de medición.....	102
5.2.9	Cálculos para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores.....	104
5.2.10	Ejemplo para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores.....	111
5.3	Procedimiento para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores.	113
5.3.1	Índice para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores.....	113
5.3.2	Objetivo para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores.....	113
5.3.3	Alcance para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores.....	113
5.3.4	Referencias para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores.....	114
5.3.4.1	Documentos utilizados para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores.	114
5.3.4.2.	Documentos a ser utilizado conjuntamente para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores.....	114
5.3.5	Generales para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores.....	114
5.3.5.1	Generalidades sobre los micrómetros de profundidad y de interiores.....	114
5.3.6	Operaciones previas para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores. ...	118
5.3.6.1	Trazabilidad patrones para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores. .	118
5.3.6.2	Condiciones ambientales para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores.	118
5.3.7	Descripción para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores.	120
5.3.7.2	Proceso de calibración.....	120
5.3.7.3	Medición del paralelismo de las caras de medición.	120
5.3.8	Cálculos para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores.....	122
5.3.9	Cuantificación de la de la incertidumbre.....	125
5.3.10	Ejemplo para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores.	129
5.4	Procedimiento para calibración de comparadores de reloj.....	131
5.4.1	Índice para calibración de comparadores de reloj.	131
5.4.2	Objetivo para calibración de comparadores de reloj.	132
5.4.3	Alcance para calibración de comparadores de reloj.	132
5.4.4	Referencias para calibración de comparadores de reloj.	132
5.4.4.1	Documentos utilizados para calibración de comparadores de reloj.....	132
5.4.5	Generales para calibración de comparadores de reloj.	132
5.4.5.1	Generalidades sobre el indicador de dial.....	132
5.4.5.2	Errores de medición.	136
5.4.5.3	Variación de la fuerza de medición..	137
5.4.5.4	Paralelismo de las puntas de medición con el objeto medido.....	137
5.4.5.5	Punta de contacto del indicador de carátula.	137
5.4.5.6	Límites de error (según NTE INEN 1 820, parte 1).	138
5.4.5.7	Requisitos para calibración de comparadores de reloj.	139
5.4.6	Operaciones previas para calibración de comparadores de reloj.....	141
5.4.6.1	Trazabilidad patrones para calibración de comparadores de reloj.....	141
5.4.6.2.	Condiciones ambientales para calibración de comparadores de reloj.	141
5.4.6.3	Limpieza para calibración de comparadores de reloj.....	141
5.4.6.4	Verificación del estado del indicador de carátula	142
5.4.6.5	Resumen para calibración de comparadores de reloj.	142
5.4.7	Descripción para calibración de comparadores de reloj.....	142
5.4.7.1	Aparatos y equipos para calibración de comparadores de reloj.....	142
5.4.7.2	Símbolos para calibración de comparadores de reloj.	143
5.4.7.3	Procedimiento para calibración de comparadores de reloj.....	143
5.4.8	Cálculos para calibración de comparadores de reloj.	144
5.4.8.1	Estimación de la Incertidumbre.....	144
5.4.9	Ejemplo para calibración de comparadores de reloj.....	147
5.5	Procedimiento para calibración de reglas rígidas	152
5.5.1	Índice para calibración de reglas rígidas	152
5.5.2	Objetivo para calibración de reglas rígidas	152
5.5.3	Alcance para calibración de reglas rígidas	152

5.5.4	Referencias para calibración de reglas rígidas.....	152
5.5.5	Generales para calibración de reglas rígidas.	152
5.5.5.1	Introducción para calibración de reglas rígidas.	152
5.5.5.2	Prerequisitos para calibración de reglas rígidas.	153
5.5.5.3	Resumen para calibración de reglas rígidas.	153
5.5.6	Descripción para calibración de reglas rígidas.	153
5.5.6.1	Aparatos y equipos para calibración de reglas rígidas.....	153
5.5.7	Procedimiento para calibración de reglas rígidas.	153
5.5.8	Cálculos para calibración de reglas rígidas.	158
5.5.9	Estimación de la Incertidumbre.	155
5.5.9.1	Incertidumbre para calibración de flexómetros, reglas metálicas y cintas hasta 7 m..	155
5.5.10	Factores de Influencia.	155
5.5.11	Método.	155
5.5.13	Evaluación.	157
5.5.14	Certificado / Informe.	157
5.6	Procedimiento para calibración de cintas.	158
5.6.1	Índice para calibración de cintas.	158
5.6.2	Objetivo para calibración de cintas.	158
5.6.3.	Alcance para calibración de cintas.	158
5.6.4	Referencias para calibración de cintas.....	158
5.6.5	Generales para calibración de cintas.	158
5.6.5.1	Introducción para calibración de cintas.	158
5.6.5.2	Prerequisitos para calibración de cintas.....	159
5.6.5.3	Resumen para calibración de cintas.	159
5.6.5	Descripción para calibración de cintas.	159
5.6.6.1	Aparatos y equipos para calibración de cintas.....	160
5.6.7	Cálculos para calibración de cintas.	161
5.6.8	Estimación de la Incertidumbre para calibración de cintas.	162
5.6.9	Método para calibración de cintas.....	163

6. ANÁLISIS DE COSTOS

6.1	Costos del sistema de aseguramiento metrológico	166
6.1.1	Costos de adquisición.....	166
6.1.1.1	Consecución.	167
6.1.1.2	Evaluación.....	167
6.1.1.3	Precio	167
6.1.1.4	Arranque.....	167
6.1.1.5	Fletes:	167
6.1.1.6	Tiempos de despacho	167
6.1.3	Costos de entrenamiento:	167
6.1.3.1	Entrenamiento de operación:	167
6.1.3.2	Entrenamiento de calibración:.....	168
6.1.3.1	Entrenamiento del instructor:	168
6.1.4.1	Costos flotantes.	168
6.1.4.2	Costos de operación compleja:	168
6.1.4.3	Costos perdonables:.....	168
6.1.4.4	Costos de automatización:	168
6.1.4.5	Costos de especificaciones:	168
6.1.4.6	Costos de expandibilidad:	169
6.1.5	Costos de calibración:	169
6.1.5.1	Frecuencia de calibración.....	169
6.1.5.2	Tiempo de calibración:	169
6.1.5.3	Costo de transporte:.....	169
6.1.5.4	Costos de portabilidad:	169
6.1.5.5	Costo por requerimientos de patrones de calibración.....	170

6.1.6.	Costos de mantenimiento.....	170
6.1.6 .1	Costos por fallas.....	170
6.1.6.2	Rutinas de mantenimiento.....	170
6.1.6 .3	Aprovisionamiento.....	170
6.1.6	Periodos de garantía.....	170
6.7	Costo de los servicios de calibración del laboratorio de longitud.....	171

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1	Conclusiones.....	174
7.2	Recomendaciones.....	175

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Magnitudes y unidades básicas del sistema internacional..... 9
2	Dimensiones y rangos para pie de rey según la NTE INEN 1822: 2001 67
3	Graduación para la escala vernier. 69
4	Límites de error (según NTE INEN 1 822)s 75
5	Errores máximos permitidos para pie de rey 76
6	Tolerancia máxima de paralelismo de las cuchillas para medición de exteriores 77
7	Para pie de rey con división de escala de 0.01 mm 0.02 mm..... 77
8	Para pie de rey con división de escala de 0.01 mm y 0.05 mm..... 78
9	Posiciones de medición para diferentes rangos de medida 81
10	Toma y tratamiento de datos para la calibración..... 90
11	Contribuciones a la incertidumbre combinada en la calibración de los Pie de rey. 91
12	Incertidumbre de la lectura del pie de rey $u(lc)$ 91
13	Incertidumbre total de la lectura del pie de rey $u(lc)$ 91
14	Resultados obtenidos para calibración de calibradores tipo pie de rey 92
15	Errores máximos permitidos para micrómetros de exteriores (NTE 1 821)..... 98
16	Toma y tratamiento de datos para la calibración..... 111
17	Presupuesto de incertidumbre para calibración de calibradores tipo pie de rey 112
18	Incertidumbre de la lectura del micrómetro $u(lm)$ 112
19	Incertidumbre total para calibración de calibradores tipo pie de rey 113
20	Valores límites para micrómetros de interiores (NTE 1 821). 117
21	Toma y tratamiento de datos para la calibración..... 130
22	Contribuciones a la incertidumbre combinada en la calibración de los micrómetros 130
23	Incertidumbre de la lectura del micrómetro 131
24	Incertidumbre total 131
25	Requisitos 140
26	Requisitos para calibración de comparadores de reloj 150
27	Condiciones ambientales para calibración de comparadores de reloj 141
28	Toma y tratamiento de datos para la calibración de comparador de reloj 148
29	Cálculo de la incertidumbre para la calibración de comparador de reloj 149
30	Resultados obtenidos para la calibración de comparador de reloj 150
31	Incertidumbre 151
32	Evaluación para la calibración de comparador de reloj 151
33	Costo de los servicios de calibración del laboratorio de longitud 171

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
1	Modelo de sistema de gestión de las mediciones norma NTE INEN-ISO 10012:2007.....	13
2	Partes de un calibrador tipo pie de rey.....	46
3	Calibrador o pie de rey.....	47
4	Calibrador universal con carátula.....	47
5	Calibrador doble.....	48
6	Calibrador digital.....	48
7	Calibrador medidor de altura.....	49
8	Calibrador de profundidad.....	50
9	Partes de un micrómetro.....	51
10	Micrómetro para medir el espesor de los tubos.....	52
11	Micrómetro de para la medición de papel, cartón de cuero y goma.....	53
12	Micrómetro oltimeter.....	53
13	Micrómetro de carátula.....	54
14	Micrómetro de interiores.....	54
15	Micrómetro de profundidad tipo varilla simple.....	55
16	Micrómetro de profundidades tipo varilla intercambiable.....	56
17	Aplicaciones de los comparadores de reloj.....	57
18	Partes principales de un comparador de reloj.....	58
19	Comparador de reloj digital.....	59
20	Medidores de espesores o micrómetros para espesor de lámina.....	59
21	Regla rígida de acero templado.....	60
22	Flexómetro.....	61
23	Medición de interiores del Calibrador o Pie de Rey.....	63
24	Medición de resaltos o escalón.....	65
25	Pie de rey con tornillo de fijación tipo 1A.....	65
26	Pie de rey digital con dispositivo de ajuste fino (F).....	66
27	Pie de rey análogo tipo C (escala principal y nonio).....	66
28	Pie de rey análogo tipo E (escala principal y nonio).....	67
29	Escala vernier.....	68
30	Error de ABRE.....	72
31	Error de paralaje en calibrador con vernier.....	74
32	Lectura de un micrómetro normal.....	95
33	Diagrama del rango de la desviación f_{max}	97
34	Partes principales de un micrómetro de profundidad.....	114
35	Partes principales de un micrómetro de profundidad.....	115
36	Diagrama del rango de la desviación f_{max} , respectivamente f_{me} (rango: 0 –25 mm).....	116
37	Indicadores de dial, formas A, B y F, según DIN 878.....	134
38	Comparador de carátula de precisión, según DIN 879.....	135
39	Punta de contacto del indicador de carátula.....	137
40	Diagrama del Rango de la desviación f_e , respectivamente f_{ges}	139
41	Diagrama del rango de la desviación f_t , en un rango parcial.....	139
42	Costos del sistema de aseguramiento metrológico.....	166

LISTA DE ABREVIACIONES

BIPM	Oficina internacional de Pesas y Medidas
CAN	Comunidad Andina de Naciones
CE	Conformidad Europea (Conformité Européenne)
CGPM	Conferencia General de Pesas y Medidas
CLPC	Coordinador del laboratorio de pruebas de calibración
DIN	Normas Industriales Alemanas (Deutsche Industrie-Normen)
Emp	Error máximo permitido
EN	Normas Europeas
GUM	Guía de la incertidumbre de la misión
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
ISO	Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization)
LPC	Laboratorio de pruebas de calibración
MSA	Measurement Systems Análisis
NTE	Normas Técnicas Ecuatorianas
OAE	Organismo de Acreditación Ecuatoriano
OIML	Organización Internacional de Metrología Legal
Res	Resolución
SAM	Sistema de Aseguramiento Metrológico
SENAI	Centro de referencia mundial en educación profesional
SI	Sistema Internacional de Unidades
TL	Técnico de laboratorio
UNE	Una Norma Española
µm	Micrómetros
VIM	Vocabulario internacional de términos metrológicos

LISTA DE ANEXOS

- A** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1821:1998
- B** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 10012:2007
- C** Guía de procedimiento de calibración VDI/VDE/DGQ 2618
- D** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1822:2001
- E** Procedimiento de operación estándar SOP N° 10(NIST)
- F** Reglas graduadas DIN 866

RESUMEN

La tesis titulada “ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA DE ASEGURAMIENTO METROLÓGICO CONFORME A LA NORMA NTE, ISO 10012:2007 PARA EL LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE LONGITUD INEN” se la realizó con la finalidad de mejorar los procesos de medición de laboratorio estableciendo un sistema de gestión de mediciones de acuerdo a las normas nacionales e internacionales.

Partiendo de requisitos metrológicos y normas técnicas se estableció un sistema de gestión de la medición enfocado a la elaboración de procedimientos de calibración para instrumentos de medición, de la magnitud de longitud; los procedimientos de calibración son las instrucciones de trabajo para la persona que efectuara las calibraciones y de esta manera evitar mediciones incorrectas que afecten a los procesos de calibración de los instrumentos.

Se desarrolló siete procedimientos de calibración en base a los requisitos de la norma NTE INEN-ISO 10012:2007 respectivamente para calibradores pie de rey, micrómetro de exteriores y de espesores, micrómetros de profundidad e interiores, indicadores de reloj o comparadores, reglas rígidas y flexómetros estos procedimientos especifican claramente requisitos metrológicos y criterios de aceptación de los instrumentos calibrados mediante comparación de un patrón de un mejor nivel de exactitud.

Se concluye que el sistema de gestión de la medición requiere además de funciones bien definidas, que se dispongan de instructivos de calibración y ajuste, al menos para la mayoría de equipos de medición, de material adicional que clarifique aspectos técnicos, como es el caso del cálculo de la incertidumbre y manejo de los instrumentos de medición y patrones.

ABSTRACT

The thesis entitled "DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF ASSURANCE METROLOGICAL CONFORM TO NTE, ISO 10012:2007 LABORATORY INSTRUMENTS CALIBRATION INEN LENGTH" it is performed in order to improve the process of establishing a laboratory measurement measurement management system according to national and international standards.

From metrological and technical standards established a management system aimed at measuring the development of calibration procedures for instruments measuring the magnitude of length calibration procedures are the work instructions for the person making the calibrations and thereby avoiding incorrect measurement processes affecting calibration of the instruments.

We developed seven calibration procedures based on the requirements of the standard ISO 10012:2007 NTE INEN respectively calipers caliper, micrometer gauge exterior, and interior depth micrometers, indicators or comparators clock, rigid rules and flexometers these procedures clearly specify metrological requirements and acceptance criteria of instruments calibrated by comparing the pattern of a higher level of accuracy.

We conclude that the management system further requires measurement of well defined functions, which is provided with calibration and adjustment instructions, at least for most measurement equipment, additional material to clarify technical aspects, such as the calculation uncertainty and proper handling of measuring instruments and patterns.

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El INEN siendo el organismo técnico nacional, eje principal del sistema ecuatoriano de la calidad cuenta con el laboratorio nacional de metrología depositario de los patrones nacionales que permite dar trazabilidad a las mediciones mediante equipos e instrumentos que utiliza la industria y el sector productivo del país, está constituido por seis laboratorios: Masa, Presión, Fuerza, Volumen, Longitud, Temperatura y Humedad y por el departamento de calibración de balanzas que constituyen el laboratorio de pruebas de calibración

El laboratorio nacional de metrología fue fundado el 22 de marzo de 1973, realiza sus actividades como parte del proceso de servicios tecnológicos una de la principales funciones que realiza este laboratorio es la de calibrar equipos de pesar y medir, actividad que se encuentra facultada por la ley del sistema ecuatoriano de la calidad publicada en el suplemento del registro Oficial N°-26 en el 2007-02-22 en su artículo 35 designa al INEN como la entidad responsable de Metrología en el país y como tal actúa en calidad de organismo nacional competente.

Esta ley se constituye en el fundamento legal para realizar las actividades metrológicas, como resultado de la calibración se emiten certificados de calibración para patrones instrumentos, elementos, máquinas y/o aparatos de pesar y medir en las magnitudes de masa, longitud, volumen, temperatura, presión y fuerza que tienen validez oficial y reconocimiento nacional.

La política de la calidad del laboratorio de pruebas de calibración es satisfacer los requerimientos metrológicos de los clientes que pertenecen a los sectores extractivo, industrial, manufacturero y de servicio; mediante el ofrecimiento de

los servicios de calibración con reconocimiento internacional; utilizando recurso humano calificado.

Instituto ecuatoriano de normalización (INEN): Es la entidad responsable de la metrología en el país y como tal actúa en calidad de organismo nacional competente. El aseguramiento de las mediciones se fundamentará en la trazabilidad de los patrones nacionales hacia patrones internacionales del sistema internacional de unidades SI, de mayor jerarquía.

Para asegurar la trazabilidad hacia los patrones nacionales, el INEN establecerá los métodos de comparación y calibración de patrones e instrumentos de medición y estructurará la cadena de referencia para cada unidad de los patrones secundarios, terciarios y de trabajo utilizados en el país.

El INEN formulará las regulaciones para el uso, control y mantenimiento de las unidades de peso y medida de los aparatos, instrumentos y equipos destinados para pesar o medir, así como para mantener su exactitud.

El INEN y los laboratorios de calibración acreditados o designados, al verificar los instrumentos para medir, dejarán en poder de los interesados los documentos que demuestren que dicho acto ha sido realizado oficialmente. Esta verificación comprenderá la constatación de la exactitud de dichos instrumentos dentro de las tolerancias y demás requisitos establecidos en los reglamentos técnicos.

Las instituciones de educación superior en sus programas y planes de estudio y en la práctica docente así como en los programas de investigación científica y técnica, utilizarán exclusivamente el sistema internacional de unidades -SI.

A su vez los laboratorios debidamente acreditados o designados podrán otorgar certificados de contraste y calibración de elementos de pesar o medir, utilizados con fines comerciales. Los poseedores de los instrumentos para medir con fines comerciales tienen la obligación de permitir que cualquier parte afectada por el

resultado de la medición se cerciore de que los procedimientos empleados en ella son los apropiados.

Los instrumentos de medición automáticos o manuales que se empleen en los servicios de suministro de agua, gas, energía eléctrica, telefonía, transporte u otros servicios públicos, están sometidos al control metrológico del INEN u otra entidad acreditada para tal efecto.

Las autoridades, empresas o personas que proporcionen directamente los servicios de metrología estarán obligadas a contar con el número suficiente de instrumentos patrón, así como con el equipo de laboratorio necesario para comprobar, por su cuenta, el grado de precisión de los instrumentos en uso y asumirán la responsabilidad de las condiciones de ajuste de los instrumentos que empleen

1.2 Justificación

El aseguramiento metrológico corresponde a toda acción emprendida para cumplir los requisitos estipulados en normas propias, nacionales o internacionales, las cuales están dirigidas al desarrollo de la forma que genera más confianza para realizar un proceso de medición.

Como parte del proceso de reconocimiento internacional de las capacidades de medición y calibración (CMCs) del laboratorio de longitud se hace necesario establecer un sistema de aseguramiento metrológico (SAM) el cual garantice controlar la realización de los diferentes procesos de medición y la confirmación metrológica del equipo de medición utilizado para apoyar y demostrar el cumplimiento de requisitos metrológicos conforme a las exigencias de un medio o una norma.

Por otro lado este trabajo pretende crear una metodología que permita alcanzar los objetivos de la calidad del producto y manejar el riesgo de obtener resultados de medición incorrectos ya que el objetivo del establecimiento de un SAM es el

manejo del riesgo de que los equipos y proceso de medición podrían producir resultados incorrectos que afecten a la calidad de producto de una organización.

Mediante la aplicación del presente proyecto de tesis se pretende aportar en el desarrollo tecnológico del mejoramiento continuo del Laboratorio, a la vez que se pretende poner en práctica los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera de Ingeniería Industrial.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Establecer un sistema de aseguramiento metrológico conforme a la norma NTE INEN-ISO 10012:2007 para el laboratorio de calibración de instrumentos de longitud del INEN.

1.3.2 *Objetivos específicos.*

Determinar los requisitos generales para el establecimiento del sistema de aseguramiento metrológico en conforme a la norma NTE INEN-ISO 10012:2007.

Determinar las herramientas estadísticas principales para monitorear los sistemas de medición.

Elaborar procedimientos técnicos para la calibración de equipos.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

2.1.1 La metrología. Las mediciones juegan un papel importante en la vida diaria de las personas. Se encuentran en cualquiera de las actividades, desde la estimación a simple vista de una distancia, hasta un proceso de control o la investigación básica.

La metrología es probablemente la ciencia más antigua del mundo y el conocimiento sobre su aplicación es una necesidad fundamental en la práctica de todas las profesiones con sustrato científico ya que la medición permite conocer de forma cuantitativa, conocer las propiedades físicas y químicas de los objetos. En su generalidad, trata del estudio y aplicación de todos los medios propios para la medida de magnitudes, tales como: longitudes, ángulos, masas, tiempos, velocidades, potencias, intensidades de corriente, temperaturas y presión para nuestro caso. El progreso en la ciencia siempre ha estado íntimamente ligado a los avances en la capacidad de medición.

En el mundo industrializado son numerosos los aspectos de la vida que dependen de las medidas. La complejidad creciente de las técnicas modernas va acompañada de continuas demandas de más exactitud, mayor rango y mayor diversidad de patrones en los dominios más variados, además la metrología es parte importante para la comercialización de productos a nivel nacional e internacional, ya que es usada por los organismos que se encargan de asegurar y darle la confianza al cliente de que lo que está adquiriendo cumple con los requisitos mínimos de calidad, en cualquier parte del mundo.

Asegurar un nivel de las calidades de las medidas es un modo de evitar decisiones erróneas y reducir las pérdidas económicas derivadas de productos y procesos deficientes, mejorar la gestión y operación de las actividades metrológicas en las

organizaciones, contribuye a dotar de mayor confianza a las declaraciones de conformidad con los requisitos de sus productos y servicios y requisitos reglamentarios.

Un sistema eficaz de gestión de las mediciones debe garantizar que: el equipo y los procesos de medición son adecuados para su uso previsto se alcanzan los objetivos de la calidad del producto se gestiona el riesgo de obtener resultados de medición incorrectos.

2.1.2 Clasificación de la metrología

2.1.2.1 Metrología científica. Es la responsable de la obtención, desarrollo, conservación y diseminación de patrones de las magnitudes medidas.

2.1.2.2 Metrología industrial o aplicada. A través de la cual se implantan cadenas de calibración que garanticen la trazabilidad de los patrones nacionales en todos los procesos de medida que se realizan dentro de un país. Desde los pequeños talleres hasta las grandes empresas, utilizan instrumentos de medida para sus operaciones de control de fabricación. Estos instrumentos deben ser lo suficientemente exactos como para que puedan garantizarse las tolerancias de fabricación indicadas en los planos o dibujos que usan.

2.1.2.3 Metrología legal. Encargada de ejercer el control y la fiscalización del estado sobre todos los instrumentos de medida, con el fin de velar por la corrección y exactitud de las medidas para la protección de la salud, la seguridad pública, el medio ambiente y evitar fraudes en perjuicio de los consumidores. A nivel mundial el organismo que rige la metrología legal es la organización internacional de metrología legal (OIML).

2.1.2.4 Metrología química. Es la relacionada con las mediciones que se realizan para el desarrollo de análisis, pruebas y ensayos químicos.

2.1.3 Metrología dimensional [1]. Es una parte importante de la metrología que se encarga de estudiar los métodos y técnicas de medición que determinan correctamente

las magnitudes lineales y angulares (longitudes y ángulos). La metrología dimensional se aplica en la medición de longitudes que pueden ser: exteriores, interiores, profundidades, alturas. También en la medición de ángulos y en la evaluación del acabado superficial.

La unidad de la magnitud de longitud, es el metro (m), una de las siete unidades base del Sistema Internacional de Unidades (SI).

2.1.4 Definición de calibración [2]. La calibración, según el vocabulario internacional de términos metrológicos (VIM) es el conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento de medida o un sistema de medida, o los valores representados por una medida materializada o por un material de referencia, y los valores correspondientes de esa magnitud realizados por patrones.

La calibración determina las características metrológicas del instrumento o del material de referencia y se realiza mediante comparación directa con patrones de medida o materiales de referencia certificados. La calibración da lugar a un certificado de calibración y, en la mayoría de los casos, se fija una etiqueta al instrumento calibrado.

Una manera práctica de entender el concepto de calibración, es, asociarlo directamente con el termino comparación, agregando que lo que se compara es el valor indicado por un equipo de medición cualesquiera, con el proporcionado por un patrón de medición. El Patrón empleado debe ser de mayor exactitud y debe estar calibrado.

2.1.5 Importancia de la calibración. El envejecimiento de los componentes y los cambios de temperatura que soportan los equipos deterioran poco a poco sus funciones. Cuando esto sucede, los ensayos y medidas comienzan a perder confianza y se refleja tanto en el diseño como en la calidad del producto. Este tipo de situaciones pueden ser evitadas por medio del proceso de calibración.

La correcta calibración de los equipos proporciona la seguridad de que los productos o servicios que se ofrecen reúnen las especificaciones requeridas. Cada vez son más numerosas las razones que llevan a los fabricantes a calibrar sus equipos de medida con el fin de mantener y verificar el buen funcionamiento de los equipos, responder a los requisitos establecidos en las normas de calidad y garantizar la fiabilidad y trazabilidad⁴ de las medidas.

Pero para que todo esto sea factible se necesita tener un mantenimiento preventivo y constante de todas las instalaciones donde se realiza la calibración y de los instrumentos de calibración utilizados. Gracias a este mantenimiento se conseguirá:

- a. Confiabilidad
- b. Disminución del tiempo de parada de los equipos
- c. Mayor duración de los equipos y de las instalaciones
- d. Menor coste de las reparaciones

2.1.6 *Sistema internacional de unidades.* La oficina internacional de Pesas y Medidas, el BIPM, fue establecida el 20 de Mayo de 1875, y debe encargarse de proporcionar las bases para que un único sistema coherente de medidas se utilice en todo el mundo

Inicialmente, el sistema métrico decimal se basaba en el metro y el kilogramo. Este sistema fue desarrollándose a lo largo del tiempo, de modo que ahora incluye siete unidades básicas.

El sistema internacional (SI) no es estático, sino que evoluciona para responder a las crecientes demandas de medida, en todos los niveles de precisión y en todas las áreas de la ciencia y tecnología.

Las siete magnitudes básicas correspondientes a las siete unidades básicas y sus unidades básicas son las presentadas a continuación:

Tabla 1. Magnitudes y Unidades Básicas del Sistema Internacional

Magnitud básica	Símbolo	Unidad básica	Símbolo
Longitud	l, h, r, x	metro	m
Masa	m	Kilogramo	kg
Tiempo	t	segundo	s
Corriente eléctrica	I, i	Ampere	A
Temperatura	T	Kelvin	K
Cantidad de sustancia	n	Mol	mol
Intensidad luminosa	Iv	candela	cd

Fuente: Centro español de metrología

El resto de magnitudes se denominan magnitudes derivadas y se expresan mediante unidades derivadas.

El SI es el único sistema de unidades que es reconocido universalmente, por ello tiene la ventaja definida de permitir un entendimiento internacional. Otras unidades ajenas al SI, se definen generalmente en términos de unidades del SI. El uso del SI también simplifica la enseñanza de la ciencia. Por todas estas razones se recomienda el uso de las unidades del SI en todos los campos de la ciencia y la tecnología.

2.1.7 Longitud [3]. Intuitivamente todos conocemos lo que es longitud o largo. En la práctica, lo que realmente medimos es la distancia o separación entre dos puntos y considerando que la definición de patrones actualmente se orienta al empleo de constantes universales, es importante estar conscientes de que la longitud implica distancia.

Se estima que un 80% de las mediciones hechas en la industria tienen que ver con desplazamiento y por lo tanto con longitud. En el año de 1800, se consideraba adecuada una exactitud de 0,25 mm para las mediciones de longitud, hoy se habla de intervalos para los requerimientos que van del campo de la nanotecnología hasta el campo de la geofísica.

2.1.8 *Historia del metro*

2.1.8.1 *Definición internacional de la unidad de medida de longitud.* Originalmente, el metro se definió como la diezmillonésima parte de la longitud de un cuadrante del meridiano terrestre e inicialmente se determinó midiendo un arco de meridiano entre Dunkerque en Francia y Barcelona en España, ciudades ambas a nivel del mar; sobre esta base se construyó en 1799 el llamado Mètre des Archives, primera materialización del metro.

Posteriormente al establecimiento del internacional “Tratado del Metro” en 1875, una copia de este prototipo se constituyó en 1889 como el metro prototipo internacional.

Este metro prototipo, una barra de iridio-platino que aún se conserva en París, se consideraba estable y preciso, al igual que sus copias, y se utilizó hasta 1960, fecha en la cual fue reemplazado por una definición basada en la longitud de onda de cierta línea espectral naranja de la luz emitida por el isótopo 86 del krypton. En la 17ª Conferencia General de Pesas y Medidas de 1983 se modificó a la definición actual, la cual está relacionada con la velocidad de la luz en el vacío (299 792 458 metros por segundo).

2.1.8.2 *Materialización del metro.* La unidad de longitud se define como la distancia recorrida por una onda electromagnética plana en el vacío en un intervalo de tiempo de $1/c$ segundos, donde c es la velocidad de la luz en el vacío y corresponde a 299 792 458 m/s.

2.1.8.3 *Patrones.* Para hacer prácticas las mediciones de longitud, se requiere una transferencia de un patrón expresado en términos de la velocidad de la luz hacia un patrón o artefacto físico.

Para medir longitudes del orden del metro se emplean métodos interferométricos. El método consiste en comparar la longitud a ser medida con la longitud de onda λ de una radiación luminosa cuya frecuencia f ha sido previamente determinada con gran exactitud.

La referencia utilizada es la longitud de onda de la radiación producida por un láser, estabilizado ya sea en frecuencia o en longitud de onda. Por ejemplo, con un láser de helio-neón estabilizado con cámara de metano, se miden longitudes de onda de 3 392,231 397 327 nm con incertidumbre relativa de 3×10^{-12} mientras que con un láser de argón estabilizado con cámara de yodo se miden longitudes de onda de 514,673 466 4 nm con una incertidumbre relativa del orden de $2,5 \times 10^{-10}$.

En la actualidad, existen modelos portátiles de láser estabilizados, los cuales le han permitido al BIPM hacer comparaciones y calibraciones in situ en una región sin requerir que varios laboratorios nacionales de metrología se vean obligados a llevar sus aparatos a Paris para su calibración. Con estas calibraciones a base de láser, los países pueden contar con sus patrones nacionales.

De estos patrones nacionales se derivarán de acuerdo a la cadena que ya vimos, los patrones de calibración y los patrones de ensayo y de trabajo tales como cintas métricas, reglas y otros.

Asimismo, de éstos se originan todos los artefactos empleados en la vida diaria para medir la longitud.

En adición a los métodos basados en fuentes luminosas, también se utilizan bloques patrón de medida. Se trata de bloques metálicos o cerámicos, altamente pulidos, cuyas extremidades tienen un paralelismo de alta calidad, y que se pueden combinar en la cantidad necesaria para obtener la longitud deseada con una exactitud adecuada a los fines, ya sea que se trate de bloques de calibración o de trabajo.

Los bloques patrón calibrados por interferometría pueden constituir la materialización del patrón y de ellos, por comparación mecánica, se derivan patrones secundarios.

2.1.8.4 Incertidumbres. Como mencionamos anteriormente, en los patrones, utilizando los láseres estabilizados se pueden obtener incertidumbres relativas de medición de longitud del orden de 10^{-9} y 10^{-12} .

2.1.8.5 Equipos de medición. Longitud, anchura, altura, espesor, diámetro, son todas medidas lineales y se han desarrollado numerosos instrumentos para poder medirlas en forma simple y con la exactitud requerida en cada caso. Así tenemos, entre otros: reglas (de madera, metal o plástico, rígidas o plegables), cintas métricas (de metal, plástico o tela), calibradores (de alta precisión, para tuercas y tornillos, para engranajes), micrómetros, nonios o verniers, bloques patrón, medidores de ángulos, divisores (también conocidos como compases de puntas o bigoteras), medidores de diámetro interior o exterior, medidores de redondez o de planos, rugosímetros, etc.

Estos instrumentos pueden basarse en métodos mecánicos, neumáticos, ópticos o electrónicos. Según el tipo de instrumento y el uso al que esté destinado, se establecen en cada caso tolerancias de exactitud.

2.2 Introducción a la norma NTE INEN–ISO 10012:2007

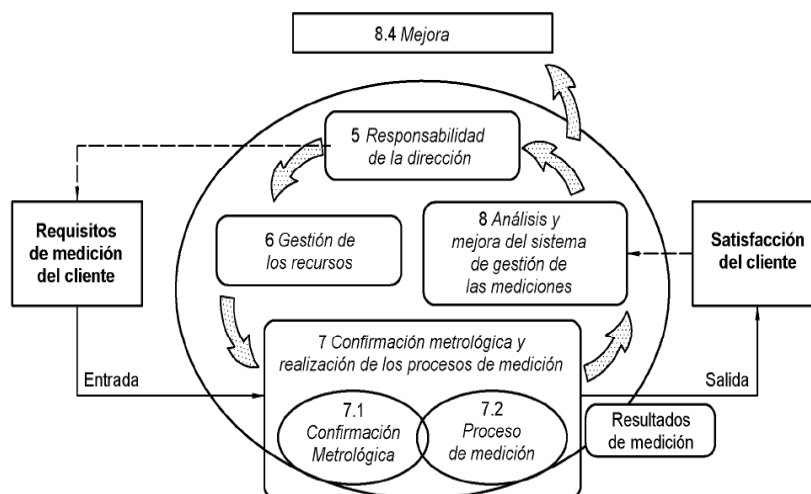
Un sistema eficaz de gestión de las mediciones asegura que el equipo y los procesos de medición son adecuados para su uso previsto y es importante para alcanzar los objetivos de la calidad del producto y manejar el riesgo de obtener resultados de medición incorrectos.

El objetivo de un sistema de gestión de las mediciones es el manejo del riesgo de que los equipos y procesos de medición pudieran producir resultados incorrectos que afecten a la calidad del producto de una organización.

Los métodos utilizados para el sistema de gestión de las mediciones van desde la verificación del equipo básico hasta la aplicación de técnicas estadísticas en el control del proceso del proceso de medición.

Esta norma contiene requisitos para implantar un sistema de gestión de las mediciones, basado en el ciclo de mejora continua y con un claro enfoque a procesos, lo que favorece su integración en el sistema de gestión global de las organizaciones.

Figura 1. Modelo de sistema de gestión de las mediciones NORMA NTE INEN–ISO 10012:2007



Fuente: Norma NTE INEN–ISO 10012:2007

2.3 Objetivos de un sistema de aseguramiento metroológico

Asegura la transferencia de y el mantenimiento de la exactitud de las mediciones mediante la cadena de trazabilidad correspondiente a nivel nacional o internacional.

Estructurar el sistema de laboratorios de metrología en concordancia con las necesidades de las áreas al que pertenece. Normalizar los sistemas de gestión metroológica.

Aprovechar los conocimientos, experiencias y prácticas en mediciones existentes y fomentar su desarrollo. Fomentar, promover y desarrollar la cultura metroológica la organización.

2.4 Términos y definiciones de la norma NTE INEN–ISO 10012:2007.

2.4.1 *Sistema de gestión de las mediciones.* El VIM lo define como: El juego completo de instrumentos de medición y otros equipos acoplados para realizar mediciones específicas.

El MSA (Measurement Systems Análisis desarrollado por Chrysler, Ford y General motors lo define como: El conjunto de operaciones, procedimientos, instrumentos de medición, accesorios, software, personal, medio ambiente y suposiciones involucrados en la obtención del resultado de una medida.

2.4.2 *Proceso de medición.* Conjunto de operaciones para determinar el valor de una magnitud. En la práctica, la medición de un objeto consiste en realizar una secuencia de pasos u operaciones que dan como resultados un valor numérico que representa la cantidad de cierta propiedad del objeto medido o mesurando, la medida es por lo general, una operación repetitiva, por lo que puede considerarse como un proceso de producción, en el cual el producto está conformado por los números asignados al objeto medido

2.4.3 *Equipo de medición.* Instrumento de medición, programa informático, patrón de medida, material de referencia o aparato auxiliar, o una combinación de éstos, necesario para llevar a cabo un proceso de medición.

2.4.4 *Característica metrológica.* Característica identificable que puede influir en los resultados de la medición. Los equipos de medición generalmente tienen varias características metrológicas. Las características metrológicas pueden ser el objeto de la calibración.

2.4.5 *Confirmación metrológica.* Conjunto de operaciones requeridas para asegurarse de que el equipo de medición es conforme a los requisitos correspondientes a su uso previsto.

2.4.6 *Función metrológica.* Función con responsabilidades administrativas y técnicas para definir e implementar el sistema de gestión de las mediciones.

2.4.7 *Resolución.* La diferencia más pequeña entre las indicaciones de un dispositivo indicador que puede ser distinguido significativamente.

2.4.8 *Valor de referencia.* Valor aceptado y que es usado como el más cercano al valor verdadero.

2.4.9 *Valor verdadero.* Valor real, es desconocido.

2.4.10 *Desviación.* Diferencia entre el valor observado y el valor de referencia o convencionalmente verdadero.

2.4.11 *Estabilidad.* Cambios de desviación en el tiempo.

2.4.12 *Linealidad.* Cambios de desviación sobre el rango de operación.

2.4.13 *Unidad (medida).* Magnitud particular, definida y adoptada por convenio, con la que se comparan otras magnitudes de la misma naturaleza para expresarlas cuantitativamente con respecto a esta magnitud. Ejemplo de unidades de medida son el segundo (tiempo), el metro (longitud).

2.4.14 *Valor numérico (una magnitud).* Número que multiplica a la unidad de medida en la expresión del valor de una magnitud.

2.4.15 *Mensurando.* Magnitud particular sometida a medición. Es la definición exacta de lo que se quiere medir.

2.4.16 *Patrón.* Medida materializada, instrumento de medida, material de referencia o sistema de medida destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o varios valores de una magnitud para que sirvan de referencia.

2.4.17 *Patrón internacional.* Patrón reconocido por un acuerdo internacional para servir como referencia internacional para la asignación de valores a otros patrones de la magnitud considerada.

2.4.18 *Patrón nacional.* Patrón reconocido por una decisión nacional, en un país, para servir como referencia para la asignación de valores a otros patrones de la magnitud considerada.

2.4.19 *Patrón primario.* Patrón que es designado o ampliamente reconocido como poseedor de las más altas cualidades metrológicas y cuyo valor se acepta sin referirse a otros patrones de la misma magnitud.

2.4.20 *Patrón secundario.* Patrón cuyo valor se establece por comparación con un patrón primario de la misma magnitud.

2.4.21 *Patrón de referencia.* Patrón, en general de la más alta calidad metrológica disponible en un lugar dado o en una organización determinada, del cual se derivan las mediciones realizadas en dicho lugar.

2.4.22 *Patrón de trabajo.* Patrón que se utiliza corrientemente para calibrar o controlar medidas materializadas, instrumentos de medida o materiales de referencia.

2.4.23 *Patrón de transferencia.* Patrón utilizado como intermediario para comparar patrones.

2.4.24 *Exactitud de medida.* Grado de concordancia (la mayor o menor cercanía) entre el resultado de una medición y un valor verdadero del mensurando.

2.4.25 *Exactitud de un instrumento de medida.* Aptitud de un instrumento de medida para dar respuestas próximas a un valor verdadero.

2.4.26 *Precisión.* La proximidad entre los resultados de ensayos independientes obtenidos en condiciones prescritas. Involucra los errores aleatorios.

2.4.27 *Calibración.* Conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento de medida o un sistema de medida, o los valores representados por una

medida materializada o por un material de referencia, y los valores correspondientes de esa magnitud realizados por patrones

2.4.28 *Verificación.* Se entiende el término verificación como el chequeo interno entre calibraciones, o las pruebas para comprobar el correcto funcionamiento de un equipo después de un ajuste o un periodo prolongado de uso.

2.4.29 *Error (de medida).* Resultado de una medición menos un valor verdadero del mensurando.

2.4.30 *Trazabilidad.* Propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con referencias determinadas, generalmente a patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas las incertidumbres determinadas.

2.4.31 *Tolerancia.* Valores extremos de un error permitido de acuerdo a especificaciones, reglamentos, etc., para un instrumento de medida dado.

2.4.32 *Incertidumbre de medida.* Parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos al mensurando.

2.4.33 *Medición.* Conjunto de operaciones que tiene por objeto determinar el valor de una magnitud.

Nota: Las operaciones pueden ser realizadas automáticamente.

2.4.34 *Instrumento de medición.* Dispositivo destinado a ser utilizado para hacer mediciones sólo o en conjunto con dispositivos complementarios.

2.4.35 *Repetibilidad (de un instrumento de medición).* Aptitud de un instrumento de medición para proporcionar indicaciones próximas entre sí por aplicaciones repetidas del mismo mensurando bajo las mismas condiciones de medición.

2.4.36 *Repetibilidad (de resultados de mediciones)*. Proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando realizadas bajo las mismas condiciones de medición.

2.4.37 *Reproducibilidad (de resultados de mediciones)*. Proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones del mismo mensurando realizadas bajo condiciones variables de medición.

2.4.38 *Clase de exactitud*. Clase de instrumentos de medición que cumplen ciertos requisitos metrológicos, previstos para mantener los errores dentro de límites establecidos

2.5 Objeto y campo de aplicación de la norma NTE INEN–ISO 10012:2007.

Esta norma internacional especifica requisitos genéricos y proporciona consejos para la gestión de los procesos de medición y para la confirmación metrológica del equipo de medición utilizado para apoyar y demostrar el cumplimiento de requisitos metrológicos. Especifica los requisitos de gestión de la calidad de un sistema de gestión de las mediciones que puede ser utilizado por una organización que lleva a cabo mediciones como parte de su sistema de gestión global, y para asegurar que se cumplen los requisitos metrológicos.

Esta norma internacional no está prevista para ser utilizada como requisito para demostrar conformidad con las normas ISO 9000, ISO 14001 o cualquier otra norma. Las partes interesadas pueden acordar la utilización de esta norma internacional como actividad para cumplir los requisitos del sistema de gestión de las mediciones en actividades de certificación.

Esta norma internacional no está prevista para ser un sustituto o una adición de los requisitos de la norma ISO/IEC 17025.

2.6 El objetivo de la norma NTE INEN–ISO 10012:2007 [4]. Estas normas para la Gestión de Confirmación Metrológica aplican para que un proveedor garantice que las mediciones se hacen con la precisión requerida y orientan la aplicación de los

requisitos, determinan además las características principales del sistema de confirmación por utilizar para el equipo de medición de un proveedor. Así, esta norma es aplicable a equipo de medición utilizado en la demostración del cumplimiento de una especificación.

La norma en mención se aplica para:

Laboratorios de ensayo, como lo que suministran un servicio de calibración.

Proveedores de productos o servicios que apliquen un sistema de calidad en el cual los resultados de la medición se utilicen para demostrar el cumplimiento de requisitos especificados.

Para otras organizaciones en las cuales la medición se utilice para demostrar el cumplimiento de requisitos especificados.

La norma contiene las definiciones básicas en vocabulario internacional de términos básicos y generales en Metrología.

Luego orienta los requisitos para cumplir a cabalidad con la gestión metrológica, entre ellos, la documentación de los métodos, el equipo de medición, sus características metrológicas requeridas en cuanto a exactitud, estabilidad, rango y resolución, las condiciones necesarios para lograr un buen desempeño de los mismos

De igual manera hace referencia a las generalidades para mantener un sistema de confirmación eficaz, esto es, mantener un sistema documentado para la administración, la confirmación y el uso del equipo de medición, incluidos los patrones utilizados para demostrar el cumplimiento de requisitos especificados. El sistema en general debe ser diseñado de manera tal, que garantice que todo el equipo de medición funcione según lo proyectado. Evitar por ejemplo que se den errores por fuera de los límites especificados de error permisible. Toma en cuenta también la asignación de responsabilidades sobre los equipos, la contratación de servicios externos, las mismas deben cumplir con requisitos especificados en esta norma, en un grado necesario que garantice el cumplimiento de requisitos del proveedor.

Contiene también orientación para las auditorías de seguimiento, que garantice una permanente y efectiva aplicación del sistema de control de instrumentos.

La planificación es importante, comienza con la revisión de los requisitos a cumplir, la importancia de la disponibilidad y el uso de los patrones de trabajo, sus características son resaltadas.

Hace referencia a las incertidumbres de la medición, determinar las que son significativas en el proceso, las que sean atribuibles al equipo de medición (incluyendo los patrones) y las debidas a procedimientos del personal y al ambiente). Se deben tomar en cuenta los datos pertinentes incluyendo los disponibles a partir de cualquier sistema de control estadístico. El tema de la incertidumbre será ampliado más adelante.

Otros aspectos importantes del control metrológico que toma en cuenta esta norma son los siguientes:

2.7 Procesos de confirmación documentados

Esta norma da las pautas a seguir para documentar los procedimientos de confirmación y que estos sean adecuados para los propósitos respectivos. En particular, hace énfasis en la suficiencia de la información que garantice su adecuada implantación, de manera que los resultados de la medición sean válidos, lo cual es el fin último del control metrológico.

2.8 Registros

Esta parte de la norma orienta lo relativo a los registros de los equipos e instrumentos de inspección, medición y ensayo, los cuales deben ser mantenidos y deben demostrar la capacidad de medición de cada elemento del equipo de medición, así también deben estar disponibles los certificados de calibración y la información pertinente concerniente a su funcionamiento, orienta también las pautas a tomar en cuenta para determinar el tiempo de conservación de los registros y lo relativo a la suficiencia de la información de los resultados de calibración.

2.9 No conformidad de un equipo de medición

Da los pasos a seguir cuando las características de un equipo no garantizan un medición correcta, su puesta fuera de servicio, separación, rotulado, etc. Las restricciones de uso de un equipo deben ser claras para el usuario a fin de evitar el uso de equipos defectuosos.

2.10 Rotulado de confirmación

Todo equipo de medición debe estar rotulado, codificado o identificado en una forma segura y durable, que indique su estado de confirmación. Cuando esta no es práctica deben establecerse procedimientos alternos eficaces.

2.11 Intervalos de confirmación

Los Intervalos de Confirmación metrológica se establecen sobre la base de su estabilidad, su propósito y su uso, los intervalos deben ser tales que la confirmación se efectúe de nuevo antes de cualquier cambio probable en la exactitud, que sea de significación en el uso del equipo.

Dependiendo de los resultados de las calibraciones en las calibraciones precedentes, los intervalos de calibración se deben acortar, si es necesario, para garantizar la exactitud permanente. Se alargarán siempre y cuando los resultados de las calibraciones precedentes suministren indicaciones definidas que esa acción no afectará adversamente la confianza en la exactitud del equipo de medición. Para asegurar que los cambios de los intervalos de confirmación son adecuados el proveedor debe tener en cuenta todos los datos necesarios, incluyendo aquellos que se puedan obtener a partir de cualquier sistema de control estadístico del proceso.

2.12 Sellado para la integridad

Los dispositivos ajustables en el equipo de medición, cuya manipulación afecte su funcionamiento, deberán ser sellados o protegidos en cualquier otra forma en una etapa adecuada de la confirmación, a fin de evitar su alteración por parte de personal no

autorizado. El sistema debe proveer instrucciones acerca de la utilización de estos sellos o las medidas preventivas a tomar en cuenta para evitar una manipulación no autorizada.

2.13 Utilización de productos y servicios externos

Se requiere un nivel de calidad para los productos y servicios de fuentes externas, a fin de minimizar la posibilidad que los resultados afecten la confiabilidad de las mediciones, para ello debe evaluarse y calificarse estas fuentes, las mismas deberán demostrar que el proveedor tiene la competencia necesaria.

2.14 Almacenamiento y manejo

Debe establecerse un sistema para recibir, manejar, almacenar y despachar el equipo de medición, a fin de evitar su mala utilización, uso inadecuado, daño y cambios en las características dimensionales y funcionales. Estas precauciones deben estar documentadas.

2.15 Trazabilidad

Se denomina así a la propiedad del resultado de una medida o del valor de un estándar donde este pueda estar relacionado con referencias especificadas, usualmente estándares nacionales o internacionales, a través de una cadena continua de comparaciones todas con incertidumbres especificadas.

Los equipos de medición se debe calibrar utilizando patrones de medición cuya trazabilidad se puede hacer hacia patrones de medición internacionales o hacia patrones de medición nacionales que sean consecuentes con las recomendaciones de la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM)., en caso de no tener estos, se debe esclarecer la trazabilidad hacia otros patrones de medición (por ejemplo, materiales de referencia adecuados, patrones de medición acordados o patrones de medición de la industria) aceptados internacionalmente en el campo que interesa. Estos patrones deben estar respaldados por certificados, informes, etc. Relacionados con el equipo en que se

dé cuenta de la fuente, fecha, incertidumbre y condiciones en las que se obtuvieron los resultados. El proveedor debe mantener evidencia documentada de que cada calibración en la cadena de trazabilidad ha sido efectuada.

2.16 Efecto acumulativo de las incertidumbres

Para cada patrón de medición y característica de equipo que se confirme, se debe considerar el efecto acumulativo de las incertidumbres en cada etapa sucesiva de una cadena de calibraciones. Cuando la misma sea tal que comprometa significativamente para hacer mediciones dentro del error máximo permitido (emp), deben aplicarse acciones correctivas.

2.17 Condiciones ambientales

Los patrones de medición y el equipo se deben calibrar, ajustar y utilizar en un ambiente controlado hasta el grado necesario para garantizar resultados válidos de las mediciones, dentro de los parámetros a tomar en cuenta deben evaluarse: temperatura, humedad, vibración, iluminación, control del polvo, limpieza, interferencia electromagnética y otros que puedan afectar los resultados de las mediciones. Cuando sea necesario, estos factores deben registrarse y verificarse continuamente. Los registros deben contener el dato original y el corregido. De aplicarse correcciones, estas deben ser correctas.

2.18 Personal

Finalmente el sistema aplicado por la gestión metrológica debe garantizar que todas las calibraciones son efectuadas por personal que tenga adecuadas calificaciones, capacitación, experiencia, aptitud y supervisión.

La norma NTE INEN-ISO 10012:2007 da las pautas para la aplicación práctica del aseguramiento metrológico de la calidad, la gestión de los instrumentos de medida, que parte del análisis de las necesidades y la selección adecuada del equipo de medición y control, gestión que toma en cuenta los aspectos técnicos y las condiciones económicas y comerciales, así como la evaluación. Otro aspecto importante de esta guía es el

relativo a la gestión de recepción y puesta en servicio de los instrumentos, las operaciones de calibración y verificación, en ella se hace referencia a los métodos de calibración o verificación, que pone énfasis en la incertidumbre.

CAPÍTULO III

3 REQUISITOS TÉCNICOS PARA LA APLICACIÓN DE LA NORMA

3.1 Generalidades

3.1.1 *Determinación de las mediciones críticas e importantes.* Es necesario conocer el proceso productivo y el impacto que tiene cada fase del, proceso, producto o servicio que recibe el cliente .Las mediciones críticas están asociadas a los dispositivos con los cuales se toman medidas y no a los que realizan proceso.

En la determinación de la criticidad de las variables es importante contemplar aspectos como:

Importancia de la medición, incidencia de esta para el resultado final

Rangos de medición o control

Intervalos de tolerancia permisibles

Frecuencia de medición

Condiciones ambientales donde se realiza las mediciones

Dispositivos de medición que intervienen en la medición

Rangos de los dispositivos de medición (capacidad máxima)

Resolución de los dispositivos de medición

Competencia del personal involucrado con la medición

Condiciones requerida de operación de los dispositivos.

3.1.2 *El proceso de la medición.* En la práctica, la medición de un objeto consiste en realizar una secuencia de pasos u operaciones que dan como resultado un valor numérico que representa la cantidad de cierta propiedad del objeto medido o mesurando. La medida es, por lo general, una operación repetitiva, por lo que puede considerarse como un proceso de producción, en el cual el producto está conformado por los números asignados al objeto medido.

Un método o procedimiento de medición está definido por un conjunto de instrucciones que especifican los equipos y accesorios que deben utilizarse, las operaciones y

secuencias en que estas deben llevarse a cabo y las condiciones bajo las cuales debe desarrollarse este método.

3.1.3 Teoría de errores. Error de medición algunas veces la palabra error se asocia con una equivocación. Sin embargo, cuando se utiliza en mediciones, el error es la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero de la magnitud concerniente a este error se le conoce como error absoluto de medición.

El Valor verdadero de una magnitud es un proceso ideal y, en general, no puede ser conocido exactamente. En su lugar se toma el Valor convencionalmente verdadero, puesto que la diferencia con respecto a éste en no es significativa para el propósito particular.

El Valor absoluto está definido de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$E_{\text{absoluto}} = V_{\text{medido}} - V_{\text{verdadero}} \quad (1)$$

De acuerdo con sus propiedades, el error en la medición está clasificado en sistemático, que proviene de una fuente constante y siempre presente, y aleatorio, proviene de una fuente en constante fluctuación.

Error sistemático: el error sistemático es un componente el error de medición que permanece constante y varía en forma previsible irregular durante cierto número de mediciones en la misma cantidad, es decir, está presente en el proceso de medición. El error sistemático, observado y estimado, puede ser eliminado de la medición por medio de una corrección. Sin embargo es imposible eliminarlo totalmente y siempre queda un remanente de este en resultado de la medición.

Error aleatorio: para definir el error aleatorio de medición, imaginemos que se mide la variable de longitud varias veces en la misma cantidad. Si existen diferencias en los resultados de estas mediciones y no se puede predecir la magnitud de estas no se

encuentra ninguna regularidad a su comportamiento, entonces tenemos presente algún error aleatorio.

El error aleatorio, entonces, es la diferencia entre el valor medido y la medida de un determinado número de mediciones del mismo que objeto, llevadas a cabo bajo las mismas condiciones. El error aleatorio es único y no puede ser duplicado ya que las condiciones de medición no puede ser duplicadas exactamente en otras palabras, podemos decir que el error aleatorio provienen de variaciones impredecibles como estos tácticas, especiales y temporales de algunos factores de influencia.

3.1.4 *Análisis de la incertidumbre.* La incertidumbre de medición son los límites dentro de los cuales se espera que deba encontrarse el Valor verdadero de lo que se está midiendo. La incertidumbre de mediciones es producida por diferentes causas tales como:

Método de medición

Errores del observador

Influencia de las condiciones ambientales

Resolución de los dispositivos de medición

Exactitud de los patrones de referencia utilizados para la calibración

Falta de conocimiento del mesurando

La incertidumbre de medición es la duda que existe acerca del resultado de cualquier medición. Se podría pensar que dispositivos de medición, como relojes, tornillos micrométricos, cintas métricas, termómetros, reglas, bien fabricados, deberían ser confiable y dar respuestas correctas. Para cada medición, aun aquella que se tome con el mayor de los cuidados, siempre existirá un margen de duda.

3.1.5 *Expresión de la incertidumbre de una medición.* Siempre existe un margen de duda en toda medición. Es necesario conocer qué tan grande es el margen y que tan mala es la duda. De este modo, se necesitan dos cantidades para cuantificar la incertidumbre. La primera es el ancho de margen o intervalo. La otra es el nivel de confianza y establecer la seguridad se tiene que el Valor verdadero está dentro de ese margen.

Ejemplo: se tiene una varilla con una longitud de 50 mm más o menos 1mm, en un nivel de confianza de 95 por ciento. Este se podría expresar así:

50 mm \pm 1 mm , en un nivel de confianza del 95%

La declaración afirma que está en una 95% seguro de que la longitud de la varilla se encuentra entre el 49 mm y 51 mm.

3.1.6 *El error con respecto a la incertidumbre.* Es importante no confundir los términos “error” e “incertidumbre”.

El error es la diferencian entre el Valor medido y el Valor verdadero del objeto que se está midiendo.

La incertidumbre que es una cuantificación de la duda que se tienen acerca del resultado de una medición.

En la medida de lo posible se intenta corregir el error conocido, aplicando por ejemplo las correcciones a las indicaciones a partir de los certificados de calibración. Pero un error cuyo valor no conocemos es una fuente de incertidumbre y de ser en estimada como los valores en los cuales podrían estar la medición realizada.

3.1.7 *Importancia de la incertidumbre de medición.* Se puede estar interesado en incertidumbres de una medición, simplemente porque se desea hacer la medición con buena calidad y para entender los resultados. Existen sin embargo, otras razones particulares para considerar la incertidumbre de medición.

Se pueden realizar mediciones como parte de:

- Una calibración, donde es necesario reportado incertidumbre en de medición en el respectivo certificado
- En un ensayo, donde es necesario determinar la incertidumbre de medición para aprobarlo o fallarlo

- En una serie de mediciones, para determinar el valor promedio de cualquier objeto medida y su posible desviación de los valores obtenidos
- Para satisfacer la tolerancia, es necesario conocer la incertidumbre antes de poder decidir si satisface o no la tolerancia.

3.1.8 Orígenes de los errores y las incertidumbres. Muchos factores pueden alterar una medición. Los errores en la medición pueden ser visibles o invisibles. Debido a que las mediciones reales nunca se realizan bajo condiciones perfectas, los errores de las incertidumbres se pueden originar en:

El instrumento de medición: De los instrumentos pueden sufrir por errores de sesgo como defectos de fabricación, cambiar por el paso del tiempo, el desgaste en alteración en las condiciones ambientales (temperatura, humedad, ruido, vibraciones, etc)

El elemento que se está midiendo: Elemento que se está midiendo puede ser no ser estable. Realizar por ejemplo la medición de un cubo de hielo en un ambiente cálido.

El método de medición: La medición puede ser difícil de realizar. Por ejemplo la medición de pesos de animales pequeños y vivos presenta dificultades particulares, mediciones en plantas donde el acceso para realizar una buena medición se dificultad.

Operadores: Muchas de mediciones dependen de la destreza y del juicio del operador. Una persona puede ser mejor que otro una delicada labor de ajustar una medición con o en lectura de detalles finos a simple vista.

Incertidumbres importadas: La calibración del instrumento tiene una incertidumbre que luego se incorpora a la incertidumbre de la medición que se realiza. La incertidumbre de medición debida a la falta de calibración será mucho peor.

Condiciones ambientales: La temperatura, la presión del aire, la humedad y muchas otras condiciones pueden afectar al instrumento de medición o al objeto que se está midiendo. Para garantizar la calidad de las mediciones, es necesario controlar o

monitorear las condiciones ambientales, con el fin de asegurar a la reproducibilidad los resultados obtenidos

3.1.9 *Estimación de la incertidumbre.* Son muchos los métodos existentes para calcular la incertidumbre y pocas veces es relativamente fácil de implementar procedimientos para hacerlo, como ocurre en aquellos casos asociados a mediciones en el área física, en los que es relativamente fácil establecer un modelo de medición.

3.1.9.1 *El mensurando.* El propósito de una medición es determinar el valor de una magnitud, llamada el mensurando, que de acuerdo al VIM, es el atributo sujeto a medición de un fenómeno, cuerpo o sustancia que puede ser distinguido cualitativamente y determinado cuantitativamente. La definición del mensurando es vital para obtener buenos resultados de la medición. En no pocas ocasiones se mide algo distinto al propósito original. La imperfección natural de la realización de las mediciones, hace imposible conocer con certeza absoluta el valor verdadero de una magnitud: Toda medición lleva implícita una incertidumbre, que de acuerdo al VIM, es un parámetro que caracteriza la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al mensurando.

Una definición completa del mensurando incluye especificaciones sobre las magnitudes de entrada relevantes.

Nota Por similitud con la GUM, en esta Guía el término *_magnitud de entrada_* se usa para denotar también magnitudes de influencia.

El resultado de una medición incluye la mejor estimación del valor del mensurando y una estimación de la incertidumbre sobre ese valor. La incertidumbre se compone de contribuciones de diversas fuentes, algunas de ellas descritas por las magnitudes de entrada respectivas. Algunas contribuciones son inevitables por la definición del propio mensurando, mientras otras pueden depender del principio de medición, del método y del procedimiento seleccionados para la medición.

Ejemplo: En la medición de la longitud de una barra, la temperatura es una magnitud de entrada que afecta directamente al mensurando por expansión o contracción térmica de la barra. Otra magnitud de entrada es la fuerza de contacto, presente cuando se usan

instrumentos que requieren contacto mecánico como los tornillos micrométricos, calibradores vernier, etc.

También pueden influir en el resultado de la medición, y por lo tanto en la incertidumbre, algunos atributos no cuantificables en cuyo caso es siempre recomendable reducir en lo posible sus efectos, preferentemente haciendo uso de criterios de aceptación en las actividades tendientes a reducir tales efectos.

3.1.9.2 Modelo físico. Un modelo físico de la medición consiste en el conjunto de suposiciones sobre el propio mensurando y las variables físicas o químicas relevantes para la medición. Estas suposiciones usualmente incluyen:

Relaciones fenomenológicas entre variables; consideraciones sobre el fenómeno como conservación de cantidades, comportamiento temporal, comportamiento espacial, simetrías; consideraciones sobre propiedades de la sustancia como homogeneidad e isotropía.

Una medición física, por simple que sea, tiene asociado un modelo que sólo aproxima el proceso real.

Ejemplo La medición de viscosidad con viscosímetros capilares usa un modelo que supone un capilar con longitud infinita, de diámetro constante y que la temperatura es absolutamente uniforme y constante en todos los puntos del viscosímetro

3.1.9.3 Modelo matemático. El modelo físico se representa por un modelo descrito con lenguaje matemático. El modelo matemático supone aproximaciones originadas por la representación imperfecta o limitada de las relaciones entre las variables involucradas. Considerando a la medición como un proceso, se identifican magnitudes de entrada denotadas por el conjunto $\{X_i\}$. Expresión en la cual el índice i toma valores entre 1 y el número de magnitudes de entrada N .

La relación entre las magnitudes de entrada y el mensurando Y como la magnitud de salida se representa como una función $Y=f(\{X_i\})=f(X_1, X_2, \dots, X_n)$.

Representada por una tabla de valores correspondientes, una gráfica o una ecuación, en cuyo caso y para los fines de este documento se hará referencia a una relación funcional.

3.1.9.4 *Identificación de las fuentes de incertidumbre.* Una vez determinados el mensurando, el principio, el método y el procedimiento de medición, se identifican las posibles fuentes de incertidumbre. Debe ser organizada una lista comprensiva de todas las fuentes relevantes de incertidumbre. Éstas provienen de los diversos factores involucrados en la medición, por ejemplo:

- Los resultados de la calibración del instrumento;
- La incertidumbre del patrón o del material de referencia;
- La repetibilidad de las lecturas;
- La reproducibilidad de las mediciones por cambio de observadores, instrumentos u otros elementos;
- Características del propio instrumento, como resolución, histéresis, deriva, etc.; variaciones de las condiciones ambientales;
- La definición del propio mensurando;
- El modelo particular de la medición;
- Variaciones en las magnitudes de influencia.

En esta etapa, no es necesario la evaluación de las componentes individuales; la intención es dejar establecidas claramente las diferentes fuentes que deben ser consideradas e el análisis de incertidumbre. En la formación de la lista requerida de fuentes de incertidumbre es conveniente comenzar con el análisis del modelo matemático utilizado para calcular el valor del mensurando desde valores intermedios. Todos los parámetros en esta expresión pueden tener una incertidumbre asociada con sus valores y son fuentes de incertidumbre potenciales.

Además, pueden haber otros parámetros que no aparezcan explícitamente en la expresión utilizada para calcular el valor del mensurando, pero que afectan los resultados de éste, como por ejemplo la temperatura.

Todas estas diferentes fuentes deben ser incluidas. No es recomendable desechar alguna de las fuentes de incertidumbre por la suposición de que es poco significativa sin una cuantificación previa de su contribución, comparada con las demás, apoyadas en mediciones. Es preferible la inclusión de un exceso de fuentes que ignorar algunas entre las cuales pudiera descartarse alguna importante.

No obstante, siempre estarán presentes efectos que la experiencia, conocimientos y actitud crítica del metrologo permitirán calificar como irrelevantes después de las debidas consideraciones.

3.1.9.5 *Cuantificación.* Una vez que han sido identificadas las fuentes de incertidumbre es necesario evaluar la incertidumbre originada de cada fuente individual, para luego combinarlas.

En la literatura se distinguen dos métodos para cuantificar las fuentes de incertidumbre: El método de evaluación tipo A está basado en un análisis estadístico de una serie de mediciones, mientras el método de evaluación tipo B comprende todas las demás maneras de estimar la incertidumbre.

Esta clasificación no significa que exista alguna diferencia en la naturaleza de los componentes que resultan de cada uno de los dos tipos de evaluación, puesto que ambos tipos están basados en distribuciones de probabilidad. La única diferencia es que en una evaluación tipo A se estima esta distribución basándose en mediciones repetidas obtenidas del mismo proceso de medición mientras en el caso de tipo B se supone una distribución con base en experiencia o información externa al metrologo.

3.1.9.6 *Incertidumbre tipo A.* La incertidumbre de una magnitud de entrada X_i obtenida a partir de observaciones repetidas bajo condiciones de repetibilidad, se estima con base en la dispersión de los resultados individuales.

Si X_i se determina por n mediciones independientes, resultando en valores q_1, q_2, \dots, q_n mejor estimado \bar{x}_i para el valor de X_i es la media de los resultados individuales:

$$x_i = \bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n q_j \quad (2)$$

La dispersión de los resultados de la medición q_1, q_2, \dots, q_n para la magnitud de entrada X_i se expresa por su desviación estándar experimental:

$$s(q) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2} \quad (3)$$

La incertidumbre estándar $u(x_i)$ de X_i se obtiene finalmente mediante el cálculo de la desviación estándar experimental de la media:

$$u(x_i) = s(\bar{q}) = \frac{s(q)}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Así que resulta para la incertidumbre estándar de X_i :

$$u(x_i) = \frac{1}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2} \quad (5)$$

No se puede dar una recomendación general para el número ideal de las repeticiones n , ya que éste depende de las condiciones y exigencias (meta para la incertidumbre) de cada medición específica. Hay que considerar que:

Aumentar el número de repeticiones resulta en una reducción de la incertidumbre por repetibilidad, la cual es proporcional $\frac{1}{\sqrt{n}}$.

Un número grande de repeticiones aumenta el tiempo de medición, que puede ser contraproducente, si las condiciones ambientales u otras magnitudes de entrada no se mantienen constantes en este tiempo.

En pocos casos se recomienda o se requiere n mayor de 10. Por ejemplo cuando se caracterizan instrumentos o patrones, o se hacen mediciones o calibraciones de alta exactitud.

Para determinar el impacto que tiene n en la incertidumbre expandida puede estimarse su influencia en el número de grados efectivos de libertad, de ser aplicable este concepto.

3.1.9.7 Incertidumbre tipo B. En una evaluación tipo B de la incertidumbre de una magnitud de entrada se usa información externa u obtenida por experiencia. Las fuentes de información pueden ser:

- Certificados de calibración.
- Manuales del instrumento de medición, especificaciones del instrumento.
- Normas o literatura.
- Valores de mediciones anteriores.
- Conocimiento sobre las características o el comportamiento del sistema de medición.

3.1.9.8 Coeficiente de sensibilidad. El coeficiente de sensibilidad describe qué tan sensible es el mensurando con respecto a variaciones de la magnitud de entrada correspondiente.

3.1.9.9 Determinación a partir de una relación funcional. Si el modelo matemático para el mensurando $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ describe la influencia de la magnitud de entrada X_i suficientemente bien mediante una relación funcional, el coeficiente de sensibilidad c_i se calcula por la derivada parcial de F con respecto a X_i :

$$c_i = \left. \frac{\partial f(X_1, X_2, \dots, X_n)}{\partial X_i} \right|_{X_1=x_1, \dots, X_n=x_n} \quad (6)$$

3.1.9.10 Otros métodos de determinación. Si la influencia de la magnitud de entrada X_i en el mensurando Y no está representada por una relación funcional, se determina el coeficiente de sensibilidad c_i por una estimación del impacto de una variación de X_i en Y según:

$$c_i = \frac{\Delta y}{\Delta X_i} \quad (7)$$

Esto es, manteniendo constante las demás magnitudes de entrada, se determina el cambio de Y producido por un cambio en Xi por una medición o a partir de la información disponible (como una gráfica o una tabla).

3.1.9.11 *Interpretación del coeficiente de sensibilidad.* El coeficiente de sensibilidad relaciona el efecto que tiene la incertidumbre de una magnitud de entrada Xi en el mensurando Y. De esa manera determina que tan grande es la variabilidad del mensurando como resultado de la variabilidad (o incertidumbre) de esta magnitud de entrada.

3.2 Habilidades del operador

El responsable de la dirección del laboratorio coordinador del laboratorio de pruebas de calibración CLPC asegura la competencia de todo el personal que maneja los patrones y equipos, que realiza calibraciones, que evalúa resultados y que firma los certificados e informes de calibración.

El laboratorio permanente deberá disponer de procedimientos para garantizar que su personal de campo es competente y está debidamente capacitado. Pruebas de la competencia del personal que realiza las calibraciones/ensayos deberá estar disponible. (Esta evidencia debe incluir registros de entrenamiento, ensayos de aptitud, etc.)

El coordinador del laboratorio de pruebas de calibración formula los objetivos en materia de educación, formación y aptitudes del personal del laboratorio. Es política del laboratorio de pruebas de calibración contar con profesionales de nivel superior y personal técnico, e identificar las necesidades de formación.

3.2.1 *Competencia.* La dirección de la función metrológica debería asegurarse de que el personal involucrado en el sistema de gestión de las mediciones tendrá en el futuro la competencia necesaria ante las siguientes potenciales necesidades:

Futuras competencias relacionadas con planes y objetivos estratégicos;

Futuros cambios de sucesión de la dirección de la función metrológica y del personal involucrado en el sistema de gestión de las mediciones;

Cambios en los procesos de medición y de confirmación metrológica, herramientas y equipos de medición de la organización;

Nuevos requisitos legales y reglamentarios o recomendaciones internacionales y nacionales, así como de partes interesadas.

Las competencias del personal asignado al sistema de gestión de las mediciones deberían incluir, entre otras:

- Las competencias técnicas asociadas a las mediciones y a los equipos de medición;
- Las competencias de gestión asociadas al sistema de gestión de las mediciones;
- La educación y formación necesaria;
- Las habilidades demostrables;
- La experiencia necesaria;
- Las competencias personales.

3.3 Instalaciones y condiciones ambientales

3.3.1 Instalaciones. Las instalaciones de los laboratorios están dotados de energía eléctrica, alumbrado y condiciones ambientales que permiten la correcta realización de las calibraciones; y, garantizar la seguridad para el personal.

3.3.2 Condiciones ambientales. El conjunto de operaciones que constituyen la calibración debe ser llevado a cabo bajo condiciones ambientales adecuadas, por ejemplo la temperatura debe ser controlada, monitoreada y registrada para asegurar que se mantienen tan cerca de 20 °C para laboratorios dimensionales, en algunos casos ,aun la velocidad de cambio o el gradiente de temperatura debe de ser controlado para hacer calibraciones confiables estabilidad Otros factores a considerar son, por ejemplo: la humedad ,la iluminación, la vibración control de polvo (limpieza),interferencia electromagnética, suministro eléctrico consideradas como magnitudes de influencia en determinadas calibraciones..

La temperatura tiene un efecto significativo sobre la exactitud de mediciones dimensionales sin embargo, muy frecuentemente no se entiende correctamente o no se le da la debida importancia. La norma ISO 1: 2002 establece que las mediciones de longitud deben ser realizadas a 20° C.

La variación alrededor de la temperatura estándar es el problema a resolver por lo que cuando se desea construir un laboratorio debe, tenerse bien claro cuál es el grado de control de temperatura necesario para lograr mediciones con exactitud deseada.

3.3.3 Efecto de la temperatura en medición. En general, al aumentar la temperatura crece las dimensiones de las piezas y cuando disminuye la temperatura las dimensiones de las piezas se reducen. Estas variables pueden determinarse utilizando la siguiente expresión:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T \quad (8)$$

Dónde:

ΔL = Variación de longitud

α = Coeficiente de expansión térmica del material

L_0 = Longitud original de la pieza

ΔT = Variación de la temperatura

3.4 Características de los equipos de medición.

Cada aplicación de un equipo de medida requiere de una exactitud y de unas prestaciones distintas. Si se pretendiera exigir mayor confianza a la medida que la necesaria, el coste del proceso de medida se vería incrementado sustancialmente. La elección, por tanto, se debe realizar a partir del conocimiento de las características, tanto estáticas como dinámicas, que definen el funcionamiento de estos equipos.

3.4.1 Selección de los dispositivos de medición. En la selección de los dispositivos para el control de cada variable, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Conocer el rango de medición en cada proceso con producto que se controla
- Conocer los intervalos de tolerancias permitidos (e.m.p)
- Frecuencia con la cual se va a ser utilizada el dispositivo
- Posible severidad el uso del dispositivo

- Condiciones ambientales donde será operado el dispositivo
- Competencia del personal que el utilizara
- Condiciones de instalaciones y operaciones requeridas
- Nivel de exactitud, entendida como la concordancia que exista entre la medición y el valor verdadero convencional
- Capacidad de trabajo deseado

3.4.2 *Características metrológicas de los dispositivos de medición*

3.4.2.1 *Rango de medida* .El rango define los valores mínimo o límite inferior y máximo o límite superior de lectura para los cuales el equipo ha sido diseñado.

3.4.2.2 *Alcance* .El alcance es la diferencia entre el valor máximo y el mínimo de la variable de entrada del instrumento de medida. Hay que destacar que muchos equipos presentan un alcance que puede ser ajustado según los requisitos de la señal. En este caso el alcance puede no coincidir con los valores que definen su rango.

3.4.2.3 *División de escala*. Máximo valor que puede medir el instrumento o del que se obtiene lectura.

3.4.2.4 *Exactitud*. Es la capacidad de un equipo de medida de dar indicaciones que se aproximen al verdadero valor de la magnitud medida. Para expresar esto, se indica el intervalo dentro del cual puede recaer el valor real del mensurando. Se debe evitar traducirlo como “precisión”, ya que el término precisión en inglés denota otro significado, como se verá a continuación. La exactitud es un parámetro determinante para la elección de un equipo u otro.

3.4.2.5 *Tolerancia*. La tolerancia es un término íntimamente relacionado con la exactitud y define el máximo error esperado en cierto valor. Estrictamente hablando, no es una característica estática del instrumento de medida. La tolerancia, cuando se emplea de forma apropiada, hace en realidad referencia a la desviación de un producto fabricado respecto a un valor especificado.

3.4.2.6 *Fidelidad.* La fidelidad es la cualidad que caracteriza la capacidad del instrumento de medida para dar el mismo valor de magnitud al medir varias veces en unas mismas condiciones. Un instrumento con fidelidad alta implica que, al tomar muchas medidas, la dispersión en éstas es muy baja. Esta característica no guarda ninguna relación con la exactitud del instrumento.

3.4.2.7 *Repetibilidad.* La Repetibilidad tiene un significado similar a la fidelidad, si bien se entiende ahora que las medidas son realizadas en un periodo de tiempo corto y, por tanto, en unas condiciones ambientales similares.

3.4.2.8 *Reproducibilidad.* La Reproducibilidad es un término equivalente a la fidelidad cuando las medidas son tomadas de manera que entre cada una de ellas se producen cambios en las condiciones ambientales, en el observador, en la localización y ubicación o en los intervalos de medida.

3.4.2.9 *Desplazamiento.* Un desplazamiento en la medida se produce cuando existe un error constante sobre todo el rango de medida. Este error generalmente puede ser eliminado por medio de un procedimiento de ajuste (ajuste de cero).

3.4.2.10 *Linealidad.* Generalmente se desea que la lectura de los equipos de medida sea linealmente proporcional a la cantidad medida. Esto significa que debe ser posible trazar una línea recta que haga corresponder cada valor de la cantidad medida con la lectura de salida. La no linealidad del equipo queda definida como la máxima desviación (o residuo) de las lecturas respecto a dicha recta.

3.4.2.11 *Sensibilidad de la medida.* La sensibilidad de la medida es la variación relativa de la salida del instrumento frente a un incremento en la cantidad medida.

3.4.2.12 *Sensibilidad ante perturbaciones.* Todas las especificaciones indicadas en la hoja del fabricante, o bien obtenidas por calibración de un equipo de medida, sólo son válidas para condiciones normales controladas de temperatura, presión, etc. Si tienen

lugar cambios en esas condiciones, las características estáticas del instrumento pueden sufrir variaciones. Estas alteraciones pueden modificar las características del instrumento de dos formas:

- Deriva de paso por cero: Se trata de una lenta variación con el tiempo del valor de paso por cero. Este cambio generalmente tiene lugar como consecuencia de una variación de temperatura. El efecto que trae asociado es un desplazamiento en la lectura.
- Deriva de la sensibilidad: es la variación que tiene lugar en la sensibilidad del instrumento como consecuencia de un cambio en las condiciones ambientales.

3.4.2.14 Zona muerta. La zona muerta de un instrumento se define como el rango de entrada para el cual no se obtiene lectura en la salida. Todo instrumento con histéresis va a presentar (en promedio) también zona muerta. Otros equipos, aún sin tener histéresis, pueden presentar zona muerta.

3.5 Aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayos y calibraciones

El laboratorio dispone de un procedimiento el cual nos da los lineamientos para el control de calidad y el seguimiento planificado y revisión de la validez de los resultados de las calibraciones realizadas. Los datos que se obtienen son registrados en los formatos de calibración respectivos. Siempre que es posible se detectan tendencias y se aplican técnicas estadísticas para analizar los resultados.

El control de calidad que realiza el LPC incluye, según el laboratorio, las siguientes actividades:

- La realización de controles estadísticos tales como, la prueba F, ensayos de consistencia, prueba t
- La participación en comparaciones interlaboratorios
- La calibración de patrones y equipos
- La calibración trimestral de un mismo objeto por dos técnicos diferentes
- La recalibración de un objeto retenido
- La circulación de un patrón, instrumento o equipo certificado (muestra ciega) como si fuera trabajo para un cliente

Los datos de control de calidad que se realiza son analizados y, si no satisfacen los criterios predefinidos, se toman acciones planificadas para corregir el problema y evitar consignar resultados incorrectos.

3.6 Aseguramiento de la calidad de los resultados.

Con el objeto de asegurar la calidad y la confianza de los resultados, en la medida que le es posible, el LPC toma en cuenta lo siguiente:

El aseguramiento externo de la calidad se realiza a través de los JL mediante la participación en intercomparaciones. En la medida de lo posible el LPC participa en:

Los programas de intercomparación organizados por el organismo de acreditación Ecuatoriano, OAE.

Los programas de intercomparación organizados por el sistema interamericano de metrología.

Programas organizados por: otras entidades, alianzas estratégicas y convenios.

Comparaciones bilaterales con otros institutos nacionales de metrología.

El aseguramiento interno de la calidad se realiza a través de los JL y CC en el área de su competencia, mediante las actividades descritas a continuación:

El cumplimiento del LPC con los requisitos del sistema de calidad (ej. auditorías internas)

Uso de patrones de trabajo trazables a los patrones nacionales.

Uso de documentos técnicos referentes al tema.

Uso de equipos de transferencia calibrados (Los patrones y equipos que influyen en los resultados de las calibraciones son calibrados siguiendo el programa anual de trabajo).

Personal capacitado para realizar las calibraciones (el LPC elabora cada año un programa de capacitación del personal a nivel interno y externo.

Cuando sea aplicable, condiciones ambientales controladas (Los TL registran las condiciones ambientales al inicio de las calibraciones en los formatos respectivos.

Cuando las condiciones ambientales se encuentran fuera de los especificados, los TL comunican verbalmente al JL para que los parámetros se modifiquen en los sistemas de climatización correspondientes).

Utilización de métodos validados

Utilización de formatos adecuados para cada tipo de calibración.

Utilización de softwares validados por el LPC (El JL revisará cada trimestre los softwares y verificará que este no haya sufrido cambios y cuando sea posible mejorarlo.

Revisión del certificado o informe técnico de calibración por parte del TL que ejecutó la calibración, el JL y el CLPC.

Cuando se obtiene resultados no consistentes o el instrumento no cumple con requisitos de una norma técnica, se repite la calibración en los puntos que son causa de incumplimiento de los requisitos aplicables de la norma.

Los técnicos están capacitados para analizar la coherencia en los resultados.

Las actividades internas programadas para el control de la calidad son las que se encuentran a continuación y su programación es elaborada por los JL en el. Estos programas deberán estar en una carpeta la cual se ubicará en el anaquel respectivo de cada laboratorio:

Calibración cada tres meses de un mismo objeto por dos técnicos diferentes, el objeto será un instrumento, patrón o equipo de un cliente escogido al azar. El criterio de aceptación es el de compatibilidad de los dos resultados.

Cada tres meses se realizará la recalibración de un objeto retenido en el local designado para la recepción y entrega. Dicha recalibración la realizará el mismo técnico que efectuó la primera calibración. El criterio de aceptación será la verificación de la compatibilidad de las dos calibraciones. Cuando sea aplicable, cada año se pondrá en circulación un patrón, instrumento o equipo certificado (muestra ciega) como si fuera trabajo para un cliente. El criterio de aceptación para el resultado de esta calibración será la compatibilidad con el valor del certificado.

CAPÍTULO IV

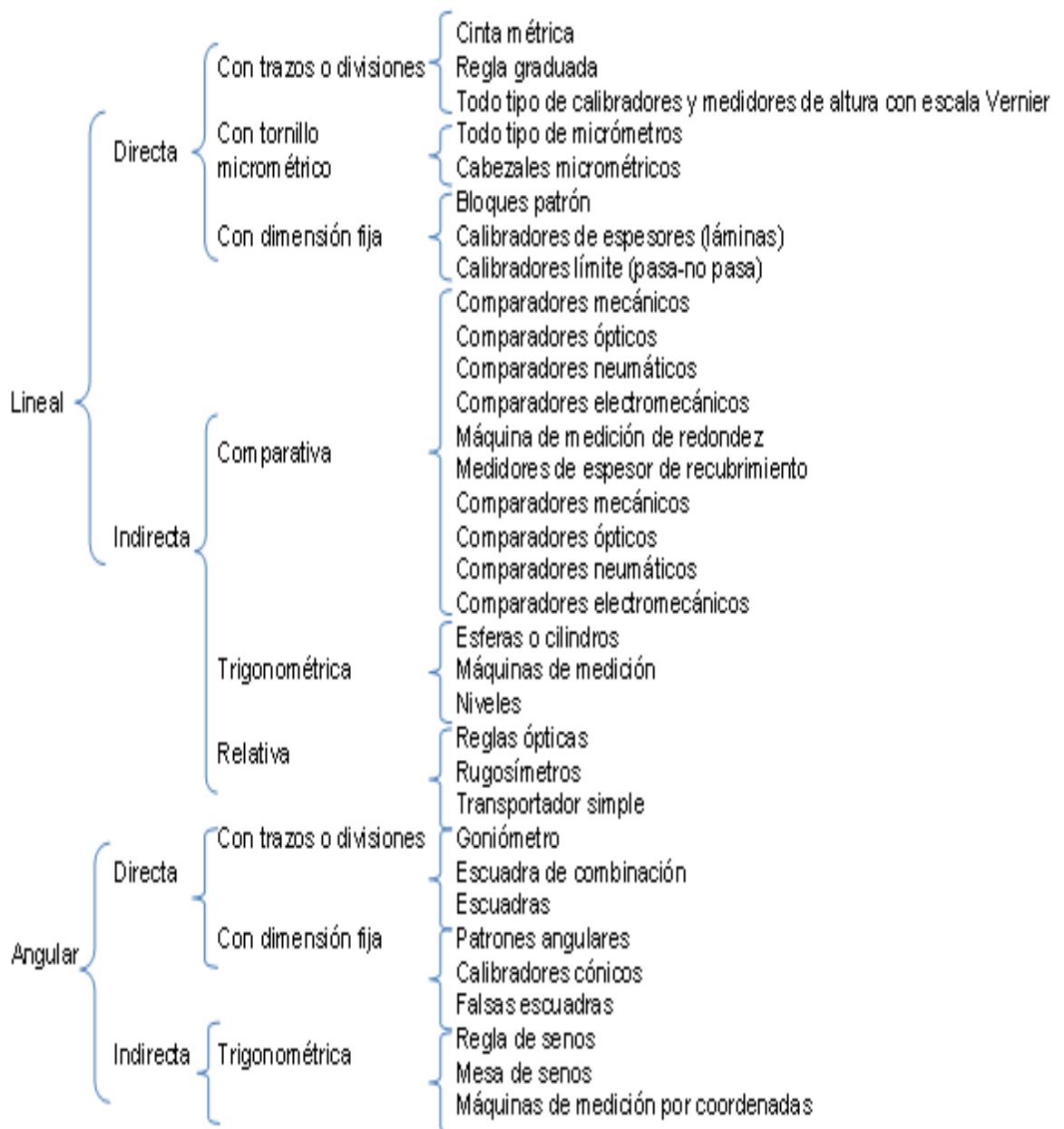
4 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS QUE SE CALIBRAN EN EL LABORATORIO

4.1 Introducción

Se denomina instrumento o aparato de medida a todo dispositivo destinado a realizar una medición, sólo o con dispositivos suplementarios. El término así definido, sirve de denominación común y comprende: medidas materializadas, materiales de referencia, instrumentos indicadores, transductores, etc., los cuales pueden agruparse y conformar sistemas de medición.

Independientemente de sus diseños, principios de funcionamiento y magnitudes que miden, a los instrumentos de medición les son comunes una serie de características metrológicas, entre las que se encuentran las siguientes: Rango de indicación conjunto de los valores limitados por las indicaciones extremas del instrumento de medición. El rango es normalmente expresado en términos de sus límites inferior y superior.

4.1.1 Clasificación de instrumentos y equipo de medición dimensional [5]. Los instrumentos de medición existentes caen dentro de dos divisiones muy amplias: la medición lineal y la medición angular. Partiendo de dicha división se podrá encontrar una subdivisión: en medidores directos e indirectos para ambas categorías. La medición se puede dividir en directa (cuando el valor de la medida se obtiene directamente de los trazos o divisiones de los instrumentos) o indirecta (cuando para obtener el valor de la medida necesitamos compararla con alguna referencia), el siguiente cuadro da una relación de las medidas y los instrumentos.



4.2 Calibración

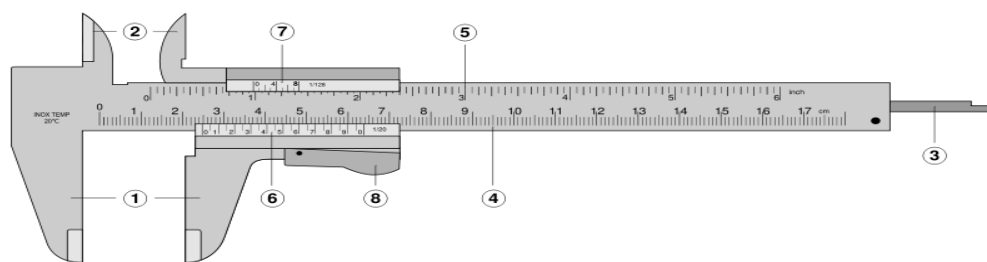
La calibración establece la relación entre el equipo (instrumento de medición o medida materializada) sujeto a calibración y el patrón, esta relación se obtiene al tomar las indicaciones del equipo y del patrón y relacionarlas como: error, corrección o linealidad, con su respectiva incertidumbre. El equipo y u o el patrón pueden darnos esa indicación mediante mediciones directas, indirectas, o bien realizar, representar o reproducir un valor.

4.3 Calibrador o pie de rey

4.3.1 Generalidades sobre el calibrador o pie de rey. Un calibrador es un instrumento muy utilizado y apropiado para medir longitudes, espesores, diámetros interiores, diámetros exteriores y profundidades en una pieza. Consiste en una regla graduada, con una barra fija sobre la cual se desliza un cursor. El calibrador estándar es ampliamente usado.

4.3.2 Partes de un calibrador o pie de rey. Los diferentes tipos del instrumento y las exigencias respecto a dimensiones, materiales y exactitudes están fijados en normas internacionales y nacionales.

Figura 2. Partes de un calibrador tipo pie de rey

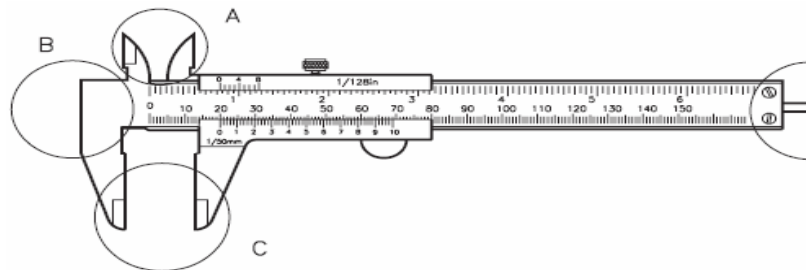


Fuente: Curso de metrología aplicada módulo longitud

1. Mordazas para medidas externas.
2. Mordazas para medidas internas.
3. Barra para medida de profundidades.
4. Escala con divisiones en centímetros y milímetros.
5. Escala con divisiones en pulgadas y fracciones de pulgada.
6. Nonio para la lectura de las fracciones de milímetros en que esté dividido.
Nonio para la lectura de las fracciones de pulgada en que esté dividido.
7. Botón de deslizamiento y freno.

4.3.3 Usos del calibrador o pie de rey. El calibrador es utilizado para realizar un sinnúmero de mediciones, pero las que pueden ser realizadas con este aparato son: internas, externas, de profundidad y de resaltos o escalón, como se muestra a continuación.

Figura 3. Calibrador o pie de rey

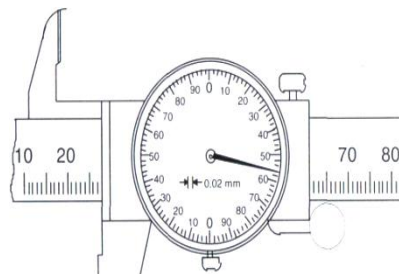


Fuente: Curso de metrología aplicada módulo longitud

4.3.4 Tipos de calibradores o pie de rey. Existen diversos tipos de calibradores (estándar, de carátula, digitales), configurados para múltiples aplicaciones. A continuación se muestran algunos de ellos.

4.3.4.1 Calibrador universal con carátula. Debido al mecanismo del indicador basado en cremallera y piñón, el calibrador de carátula ofrece lecturas fáciles pero, al mismo tiempo, esta característica requiere poner una especial atención en su manejo.

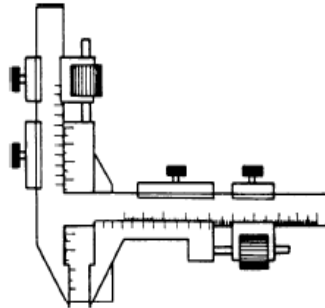
Figura 4. Calibrador universal con carátula



Fuente: Curso de metrología aplicada módulo longitud

4.3.4.2 *Calibrador doble.* Utilizado para medir dientes de engranajes.

Figura 5. Calibrador doble

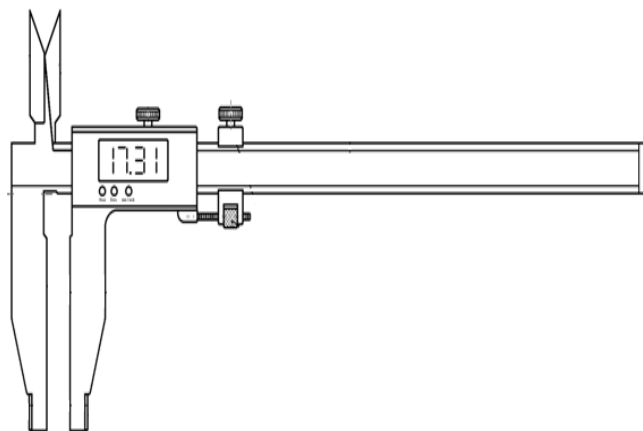


Fuente: Curso de metrología aplicada módulo longitud

4.3.4.3 *Calibrador digital.* El calibrador electrodigital utiliza un sistema de detección de desplazamiento tipo capacitancia, y es casi del mismo tamaño y peso que el calibrador Vernier convencional del mismo rango de medición. Estos calibradores en la actualidad son utilizados extensamente debido a las ventajas que se lograron gracias al sistema digital.

Es empleado para realizar lecturas rápidas, libre de errores de paralaje e ideales para cuando es requerido el control estadístico.

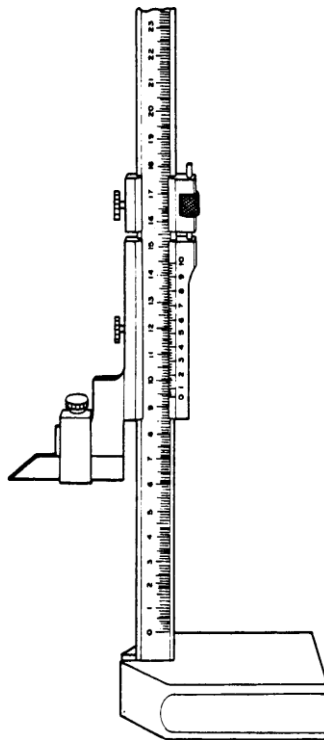
Figura 6. Calibrador digital



Fuente: Curso de metrología aplicada módulo longitud

4.3.4.4 Medidor de altura. El medidor de altura es un dispositivo para medir la altura de piezas o las diferencias de altura entre planos a diferentes niveles; también es utilizado como herramienta de trazo. El medidor de altura cuenta con un solo palpador (trazador) y la superficie sobre la cual descansa (generalmente una mesa de granito) actúa como plano de referencia para realizar las mediciones.

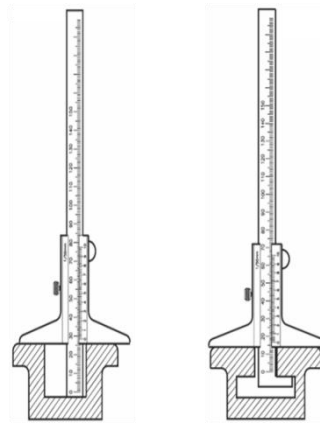
Figura 7. Calibrador medidor de altura



Fuente: Boletín Mitutoyo

4.3.4.5 Calibrador de profundidad. El medidor de profundidad está diseñado para medir las profundidades de agujeros, ranuras y resagues, así como diferencias de alturas entre peldaños o planos. Consiste de un Vernier con una base y una escala principal. Sus sistemas de graduación y construcción son básicamente los mismos que los empleados en los calibradores Vernier; es ampliamente utilizado como una herramienta dedicada para la medición de profundidad y altura debido a su alta confiabilidad de medición y facilidad de operación.

Figura 8. Calibrador de profundidad



Fuente: Boletín Mitutoyo

4.4 Micrómetros de exteriores

4.4.1 *Generalidades sobre el micrómetro de exteriores de dos contactos.* Los micrómetros al igual que el pie de rey pertenecen al grupo de instrumentos de medición más utilizados en la industria, debido a su construcción robusta y su manejo sencillo. La principal diferencia respecto al pie de rey es su exactitud mayor.

Su escala longitudinal se basa en una rosca de alta precisión, situada dentro de la escala micrométrica, de paso pequeño (normalmente $p=0,5$ o 1 mm); cada avance longitudinal de valor p dado al contacto móvil, supone un desplazamiento circunferencial πD , siendo D el diámetro del tambor sobre el que se ha grabado la lectura.

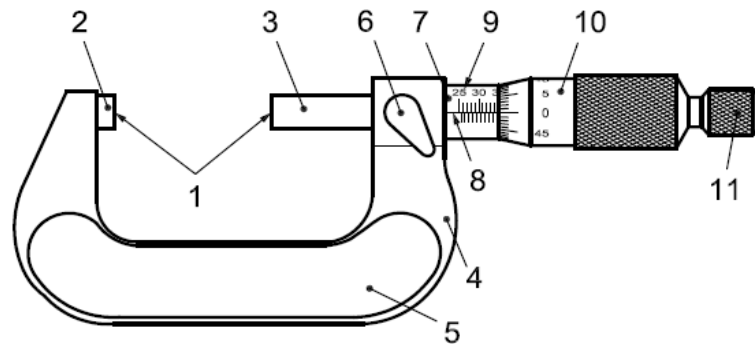
Con ello se pueden principalmente medir:

Dimensiones y diámetros y externos

Además existen una serie de ejecuciones especiales para la medición de roscas, engranajes, etc. Vienen por lo general con indicación análoga con una división mínima de $0,01$ mm o sea 10 μm y hoy día también con indicación digital con una división mínima de $0,001$ mm o sea 1 μm .

4.4.2 Partes de un micrómetro. Los diferentes tipos del instrumento y las exigencias respecto a dimensiones, materiales y exactitudes están fijados en normas internacionales y nacionales.

Figura 9. Partes de un micrómetro



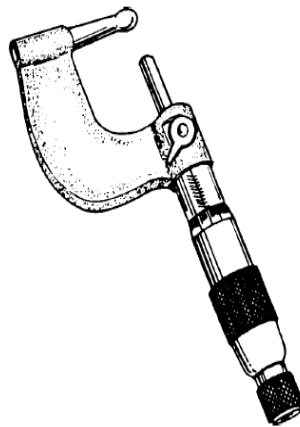
Fuente: Programa de certificación de personal de mantenimiento SENAI

1. Caras de medición
2. Yunque o tope fijo
3. Husillo de medición
4. Marco
5. Placas de aislamiento térmico
6. Freno del husillo
7. Cilindro
8. Línea de referencia
9. Indicación analógica
10. Tambor
11. Trinquete

4.4.3 Tipos de micrómetros

4.4.3.1 *Micrómetro para medir el espesor de los tubos.* Este tipo de micrómetro es utilizado para medir el espesor de pared de tubos con pequeño diámetro interior, la forma del tope del husillo puede ser plana o esférica. Requiere cuidado especial durante la medición porque el tope largo y delgado está sujeto a flexión o deformación cuando se aplica una fuerza de medición excesiva. Para evitar este problema la fuerza de medición en el trinquete es menor que la del micrómetro estándar de exteriores.

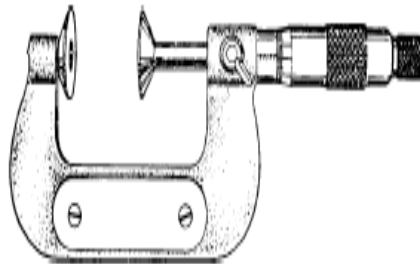
Figura 10. Micrómetro para medir el espesor de los tubos.



Fuente: Programa de certificación de personal de mantenimiento SENAI

4.4.3.2 *Micrómetro de para la medición de papel, cartón de cuero y goma.* Este tipo es similar al micrómetro tipo discos para medición de espesor de dientes de engrane, pero utiliza un husillo no giratorio con el objeto de eliminar torsión sobre las superficies de la pieza, lo que lo hace adecuado para medir papel y piezas delgadas. Los discos proporcionan superficies grandes de medición con el fin de evitar que la fuerza de medición se concentre.

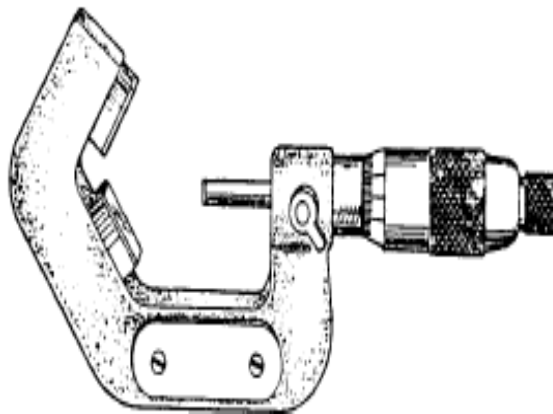
Figura 11. Micrómetro de para la medición de papel, cartón de cuero y goma.



Fuente: Programa de certificación de personal de mantenimiento SENAI

4.4.3.3 *Micrómetro oltilmeter.* Este micrómetro es útil para medir el diámetro de herramientas de corte que cuenten con un número impar de puntas de corte que un micrómetro normal de exteriores no podría medir , tales como grifos, fresas, hachas, talladas, etc.

Figura 12. Micrómetro oltilmeter



Fuente: Programa de certificación de personal de mantenimiento SENAI

4.4.3.4 *Micrómetro de carátula* [6]. Este micrómetro tiene un indicador de cuadrante en lugar de tope fijo y está hecho a propósito para mediciones de comparación maestra de muchos objetos de medición.

El tope fijo cuando se contrae o es empujado, indica su desplazamiento en el indicador de cuadrante.

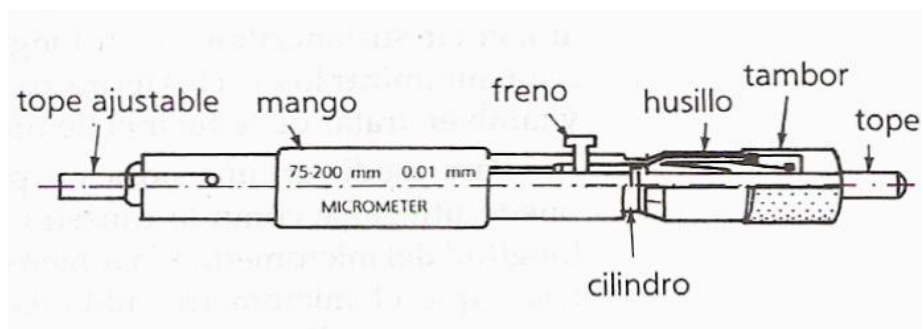
Figura 13. Micrómetro de carátula



Fuente: Curso de metrología CENAM

4.4.3.5 *Micrómetro de interiores.* Consta de un manguito al cual se le pueden agregar varillas calibradas para medir distintas medidas interiores. El tornillo micrométrico tiene una longitud de 25mm pudiendo llegar con las varillas calibradas hasta 800mm y aún más. En pulgadas inglesas varía desde 1" hasta 32". Para efectuar la medición se hace oscilar la punta de la varilla calibrada, manteniendo el tope del otro extremo del tambor en contacto con uno de los puntos límites de la medición, hacia ambos costados (hasta lograr la mayor medida) y hacia abajo y arriba (hasta lograr la menor medida) a fin de estar en el diámetro de la pieza.

Figura 14. Micrómetro de interiores



Fuente: Programa de certificación de personal de mantenimiento SENAI

4.5 Micrómetro de profundidades

Los micrómetros de profundidad son útiles para medir las profundidades de agujeros, ranuras y escalonamientos.

Este tipo de micrómetros se clasifican de la siguiente manera:

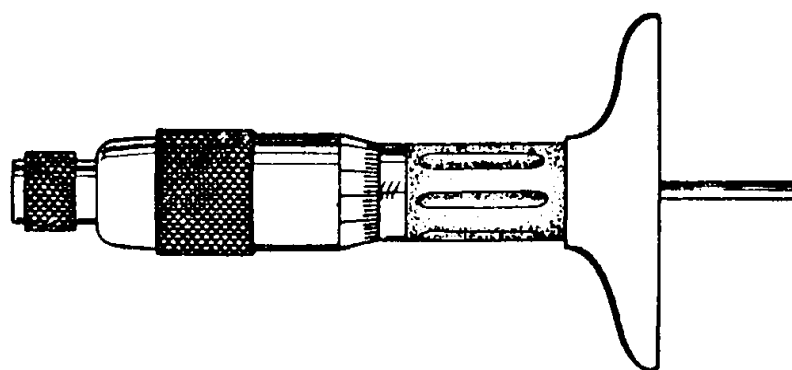
- A. Tipo varilla simple
- B. Tipo varilla intercambiable

De estos dos tipos, el de varilla intercambiable es el que más se utiliza.

4.5.1 *Micrómetro de profundidad tipo varilla simple.* Este micrómetro consiste de una cabeza micrométrica, un husillo y una base. La construcción del cilindro y el tambor es la misma que la del micrómetro normal de exteriores, pero las graduaciones están dadas en la dirección inversa. El rango de medición típico es de 25 mm.

La superficie externa del husillo sirve como cara de medición. La base está hecha de acero endurecido. Debido a que la superficie inferior de la base se utiliza como superficie de referencia, esta lapeada con exactitud a un alto grado de planitud (aproximadamente 1.5 μm).

Figura 15. Micrómetro de profundidad tipo varilla simple



Fuente: Programa de certificación de personal de mantenimiento SENAI

4.5.2 *Micrómetro de profundidades tipo varilla intercambiable.* Este micrómetro utiliza un husillo hueco sin superficie de medición. En su lugar, una varilla

intercambiable que pasa a través del husillo y la base tiene una superficie de medición finamente lapeada en un extremo. El otro extremo de la varilla está sujeto al husillo. El método de fijación depende del fabricante.

Figura 16. Micrómetro de profundidades tipo varilla intercambiable



Fuente: Fuente: Curso de metrología CENAM

4.6 Comparadores de reloj o indicador de carátula.

Los indicadores de carátula o comparadores de reloj son instrumento de precisión utilizados para medir la diferencia en tamaño o localización que existe entre una pieza de trabajo y una norma de referencia. Aunque son capaces de proporcionar mediciones lineales, los indicadores de carátula son utilizados por lo general para efectuar mediciones por comparación.

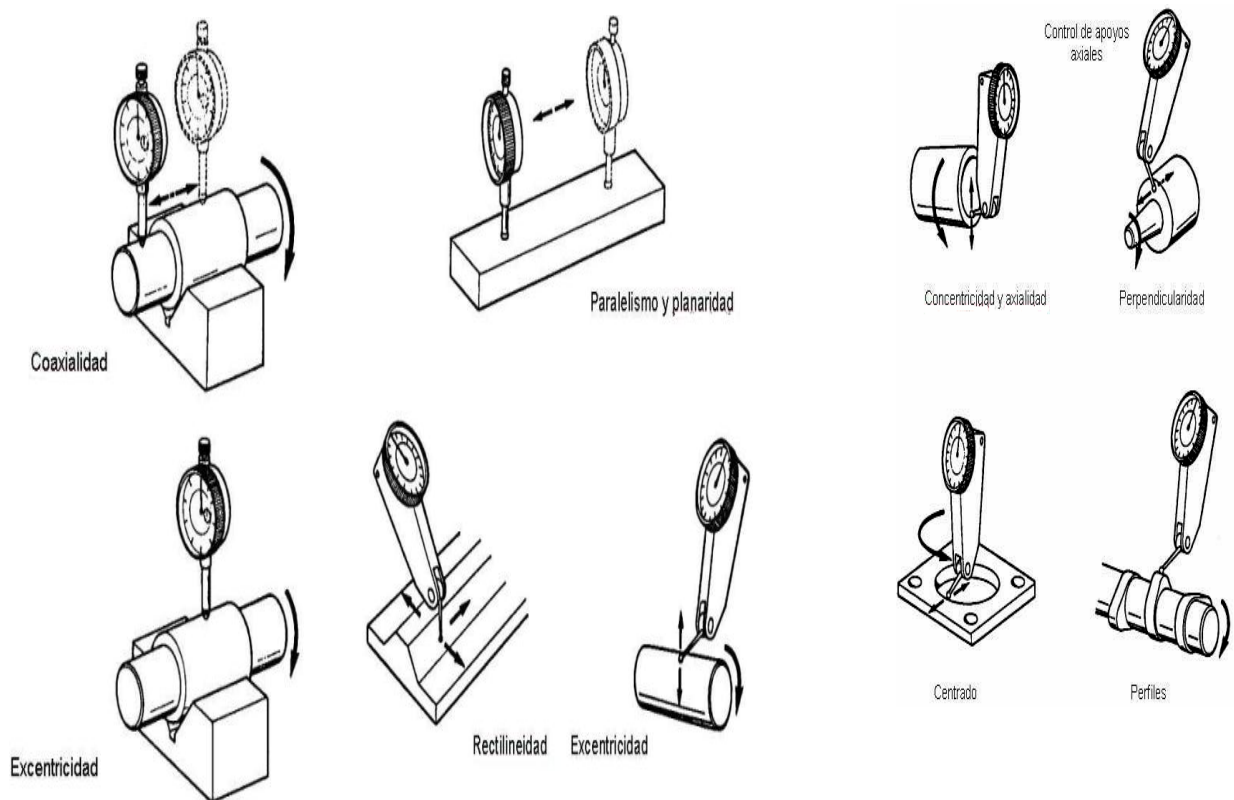
Para efectuar una inspección, el indicador de carátula se ajusta a un valor norma o estándar y a continuación, utilizando el indicador, cada pieza de trabajo se va comparando con la norma.

Cualquier variación con respecto a la dimensión prefijada se puede detectar con facilidad mediante la lectura de las graduaciones de la carátula.

4.6.1 Aplicaciones de los comparadores de reloj [7]. El comparador no sólo sirve para medir diferencias de cotas, también puede utilizarse para controlar:

- Paralelismo y planaridad.
- Rectilineidad.
- Excentricidad.
- Concentricidad y axialidad.
- Perpendicularidad (control de apoyos axiales).
- Centrado.
- Perfiles.

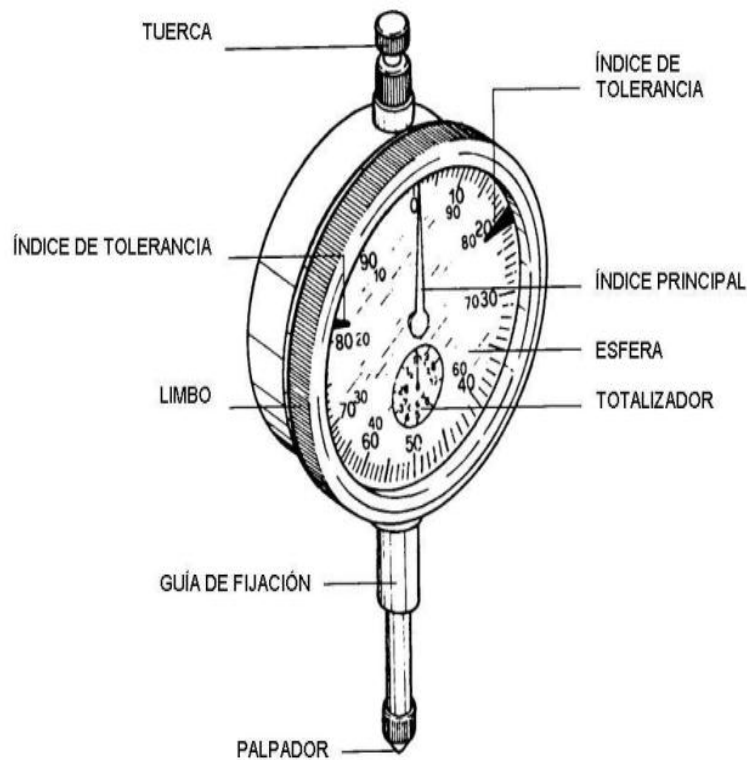
Figura 17. Aplicaciones de los comparadores de reloj



Fuente: Manual del estudiante STARRET

4.6.2 Partes principales de un comparador de reloj

Figura 18. Partes principales de un comparador de reloj



Fuente: Manual del estudiante STARRET

4.6.3 Comparador de reloj digital. La aplicación de la electrónica a los aparatos de medida ha dado lugar a relojes comparadores de funcionamiento electrónico, que pueden presentar la lectura de la medición en un visualizador digital.

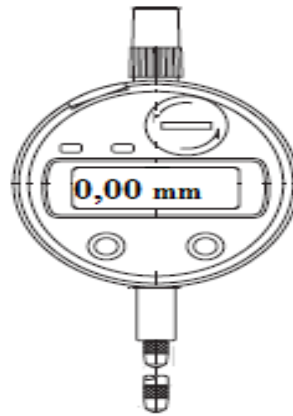
Un reloj comparador digital tiene una forma similar al tradicional, pero con las ventajas de la tecnología digital, presenta la información en una pantalla, en lugar de manecillas y permite, en muchos casos, su conexión a un ordenador o equipo electrónico.

Las características de un reloj digital son:

- Amplitud de medida.

- Apreciación.
- Conectividad

Figura 19. Comparador de reloj digital



Fuente: Autor

4.6.4 *Medidores de espesores o micrómetros para espesor de lámina.* Este tipo de micrómetro tiene un arco alargado capaz de medir espesores de láminas en porciones alejadas del borde de estas. La profundidad del arco las va de 1000 a 600 mm, otras de sus partes son iguales al micrómetro normal. Hay un micrómetro de este otro tipo que está provisto de una carátula para facilitar la lectura.

El engranaje es uno de los elementos más importantes de una máquina por lo que su medición con frecuencia es requerida para asegurar las características deseadas de una marcha.

Figura 20. Medidores de espesores o micrómetros para espesor de lámina.



Fuente: Aseguramiento metrológico de Jaime Restrepo Díaz pag.15

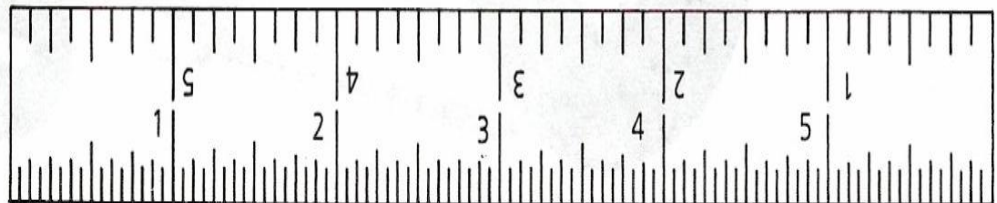
4.7 Reglas

La herramienta de medición más común en el trabajo del taller mecánico es la regla de acero. Se emplea cuando hay que tomar medidas rápidas y cuando no es necesario un alto grado de exactitud. Las reglas de acero, en pulgadas, están graduadas en fracciones o decimales; las reglas métricas suelen estar graduadas en milímetros. La exactitud de la medida que se toman depende de las condiciones y del uso correcto de la regla.

4.7.1 Regla de acero. Las reglas de acero se fabrican en una gran variedad de tipos y tamaños, adecuados a la forma o tamaños de una sección o la longitud de una pieza. Para satisfacer los requisitos de la pieza que se produce y se va a medir, hay disponibles reglas graduadas en fracciones a decimales de pulgada o en milímetros. Los tipos de reglas más utilizados en el trabajo del taller mecánico se describen a continuación.

Regla rígida de acero templado, generalmente tiene cuatro escalas, dos en cada lado; se fabrican en diferentes longitudes, la más común es de 6 pulgadas o 150 mm.

Figura 21. Regla rígida de acero templado



Fuente: Metrología Zeleny González pág.46

Regla flexible, similar a la anterior pero más estrecha y delgada, lo que permite flexionarla, dentro de ciertos límites, para realizar lecturas donde la rigidez de la regla de acero templado no permite la medición adecuada.

4.8 Flexómetro

Generalmente, el primer contacto con un instrumento de medición de longitud será con una cinta, un flexómetro o una regla, la que dependerá de la longitud que se desee medir.

Las cintas de medición normalmente se utilizan para longitudes de hasta 50 m (150pies); los flexómetros para longitudes de hasta 5 m (25 pies), las reglas se describen con detalle en los siguientes párrafos.

En todos estos casos la medición es realizada desde un punto inicial fijo sobre la escala que está alineada con un extremo de la distancia por medir, la graduación que corresponda a la posición del otro extremo proporcionará la longitud.

La escala consiste de una serie de graduaciones uniformemente espaciadas que representan submúltiplos de la unidad de longitud. Valores numéricos convenientes se encuentran marcados sobre la escala cada determinado número de graduaciones para facilitar la lectura.

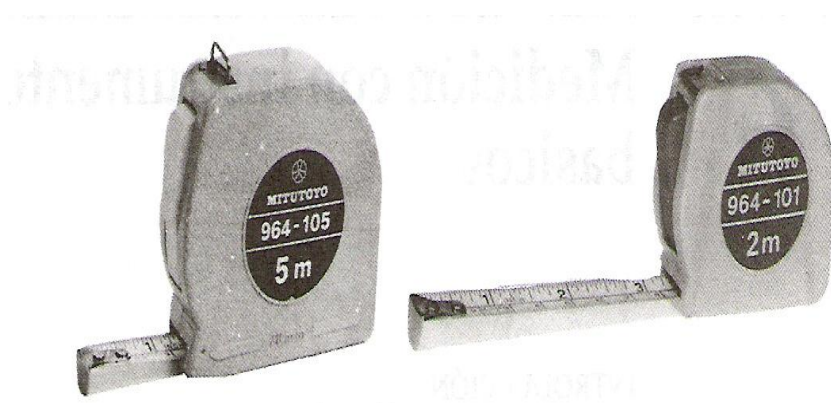


Figura 22. Flexómetro

Fuente: Metrología Zeleny González pag. 45

CAPÍTULO V

5. ELABORACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN PARA LOS EQUIPOS

Cada tipo de medición que es parte de una manufactura, servicio o esfuerzo de calidad debe tener sus procedimientos escritos describiendo como se hacen las mediciones correctamente.

Los procedimientos deben incluir:

- Una descripción del instrumento de medición a ser utilizado para tomar la medición
- Orientaciones para preparar la muestra a ser medida (el objeto a ser medido)
- Directivas para chequear la condición del instrumento de medición y prepararlo para asignar una cantidad al mensurando
- Precauciones y peligros
- Instrucciones para tomar y registrar las mediciones
- Directrices para manejar el dispositivo o la unidad bajo prueba después que las mediciones se han realizado y qué hacer si las cantidades del mensurando caen por fuera de los parámetros establecidos.

Los procedimientos documentados están diseñados para asegurar que las mediciones se toman correctamente y que están tomadas de la misma forma cada vez que se realizan independiente de quien lo hace o cuando son tomadas.

5.1 Procedimiento para la calibración de calibradores tipo pie de rey

5.1.1 Índice para calibración de calibradores tipo pie de rey

- Objetivo
- Alcance
- Referencia
- Contenido

5.1.2 Objetivo para calibración de calibradores tipo pie de rey. Este procedimiento da lineamientos para la calibración adecuada de calibradores tipo pie de rey.

5.1.3 Alcance para calibración de calibradores tipo pie de rey. Este procedimiento se aplica a calibres pie de rey decimales y centesimales de milímetro; de exteriores, interiores o profundidades, sean analógicos, de caratula o digitales. En ausencia de un procedimiento específico, es también de aplicación a todos los instrumentos de medida de longitudes, similares a los calibres pie de rey aquí descritos, tales como calibres de profundidad, de alturas, etc. Siendo este procedimiento aplicable a todos ellos.

5.1.4 Referencias para calibración de calibradores tipo pie de rey

5.1.4.1 Documentos utilizados para calibración de calibradores tipo pie de rey

- LPCPA 01, Procedimiento para la elaboración, actualización y aprobación de documentos.
- LPC PC 22, Estimación de la Incertidumbre de las calibraciones que realiza el LPC Seminario Metrología de Longitudes con énfasis en calibración de micrómetros, indicador de carátula y calibradores con vernier.

5.1.4.2 Documentos a ser utilizado conjuntamente para calibración de calibradores tipo pie de rey.

- LPC PC 01, Procedimiento para elaboración de Certificados de Calibración

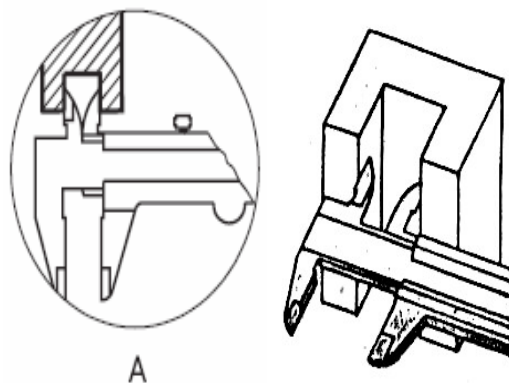
- NTE INEN 1822, Calibradores con vernier. Requisitos y ensayos
- LPC FC 12, Formato para calibración de calibradores pie de rey.

5.1.5 Generalidades para calibración de calibradores tipo pie de rey

5.1.5.1 Generalidades sobre el calibrador tipo pie de rey. Un calibrador es un instrumento muy utilizado y apropiado para medir longitudes, espesores, diámetros interiores, diámetros exteriores y profundidades en una pieza. Consiste en una regla graduada, con una barra fija sobre la cual se desliza un cursor. El calibrador estándar es ampliamente usado.

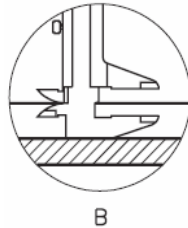
5.1.5.2 Usos del calibrador o pie de rey. El calibrador es utilizado para realizar un sin fin de mediciones, pero las que pueden ser realizadas con este aparato son: internas, externas, de profundidad y de resaltos o escalón, como se muestra a continuación en las siguientes figuras.

Figura 23. Medición de interiores del calibrador o pie de rey



Fuente: Curso de metrología aplicada módulo longitud

Figura 24. Medición de resaltos o escalón



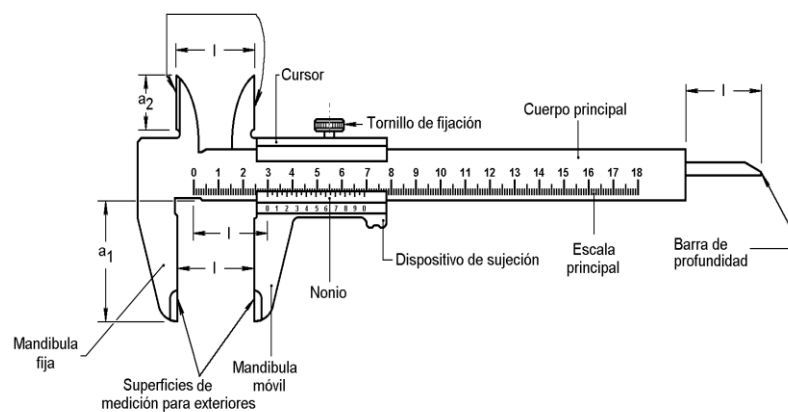
Fuente: Curso de metrología aplicada módulo longitud

5.1.5.3 *Designaciones y dimensiones para calibración de calibradores tipo pie de rey.*
Para tolerancias generales, se debe aplicar el grado de exactitud m, como se especifica en la norma DIN 7168.

5.1.5.4 *Pie de rey diseñado para medición interna, externa y profundidad*

TIPO 1A

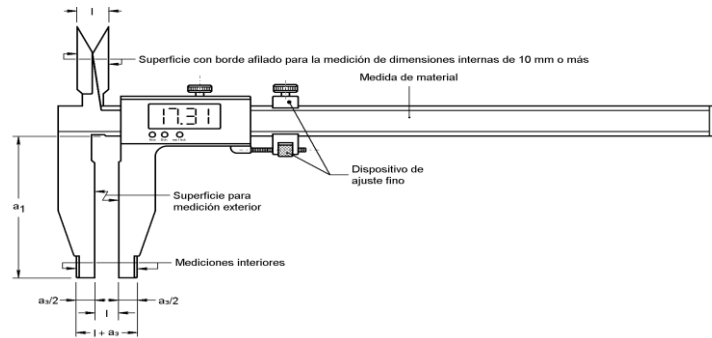
Figura 25. Pie de rey con Tornillo de fijación Tipo 1A



Fuente: NTE INEN 1822: 2001

TIPO F

Figura 26. Pie de rey digital con dispositivo de ajuste fino (F)

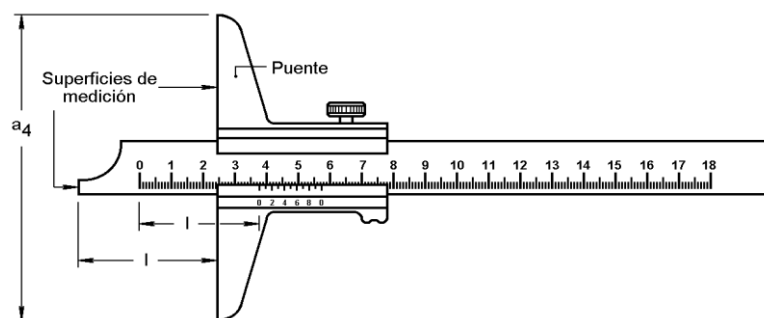


Fuente: NTE INEN 1822: 2001

5.1.5.5 Pie de rey diseñado para mediciones de profundidad

TIPO C

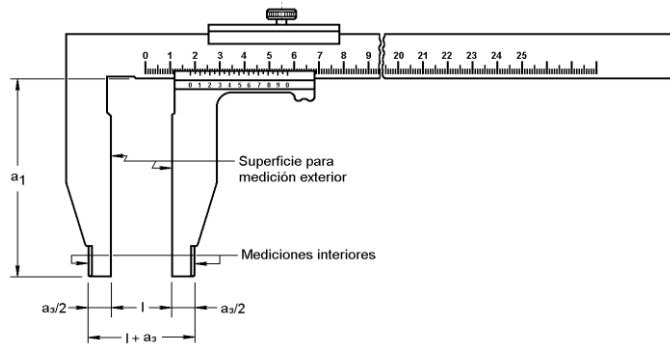
Figura 27. Pie de rey análogo tipo C (escala principal y nonio)



Fuente: NTE INEN 1822: 2001

TIPO E

Figura 28. Pie de rey análogo tipo E (escala principal y nonio)



Fuente: NTE INEN 1822: 2001

Tabla 2. Dimensiones y rangos para pie de rey según la NTE INEN 1822: 2001

Rango de medición ¹⁾	Longitud de las mandíbulas, a_1 ²⁾	Longitud mínima de las superficies para medición interna a_2	Ancho combinado de mandíbulas para medición interna a_3	Longitud del puente para pie de rey de profundidad a_4
0 - 160	40	8	5	100
0 - 200	60		10	
0 - 250	75	20		
0 - 300	90		15	250
0 - 400	125	20		
0 - 500	150		20	-
0 - 750		200		20
0 - 1000	200		20	
0 - 1500		200		20
0 - 2000	200		20	

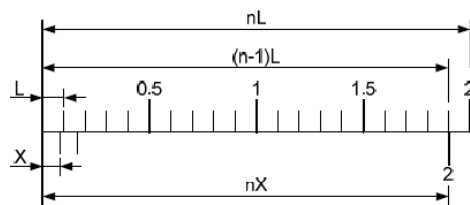
1) El rango de medición de los pie de rey equipados con un dispositivo de ajuste fino se puede reducir de acuerdo con la longitud del dispositivo implicado.
 2) Para la longitud de las mandíbulas, a_1 , debe ser igual a una tercera parte del rango de medición hasta un límite superior de 300 mm. En el caso de pie de rey con resolución de 0,02 mm, la longitud debe ser más corta con el fin de evitar que los resultados se distorsionen indebidamente debido a la no conformidad con el principio de Abbe.

Fuente: NTE INEN 1822: 2001

5.1.5.6 Vernier o división de escala para calibración de calibradores tipo pie de rey.
 Para obtener una lectura en el pie de rey análogo se utiliza una escala o regla principal y una escala auxiliar (VERNIER).

Las graduaciones de la escala vernier se obtienen usualmente por medio de dividir las (n-1) graduaciones de la escala principal en n partes iguales.

Figura 29. Escala vernier



Fuente: NTE INEN 1822: 2001

Se define:

L = Valor de la mínima división sobre la escala principal

X = Valor de la mínima división de la escala vernier

Res = Resolución

n = Número de divisiones

$$n * X = (n - 1) * L \tag{9}$$

$$X = \frac{(n-1)*L}{n} \tag{10}$$

$$Res = L - X \tag{11}$$

$$Res = L - \frac{(n-1)*L}{n} \quad (12)$$

$$Res = \frac{L}{n} \quad (13)$$

Por ejemplo para un vernier cuyo L sea igual a 1 mm y tenga 20 divisiones en la escala vernier, la resolución del instrumento será:

$$Res = \frac{1}{20} = 0,5[mm] \quad (14)$$

- Método de graduación para calibración de calibradores tipo pie de rey

Tabla 3. Graduación para la escala vernier.

División mínima de la escala principal	Método de graduación para la escala vernier	Lectura mínima
1mm	9mm divididos en 10 partes iguales.	0,1mm = 1/10mm
	19mm divididos en 10 partes iguales.	
	49mm divididos en 50 partes iguales.	0,02mm = 1/50mm
	19mm divididos en 20 partes iguales.	0.05mm = 1/20mm
	39mm divididos en 20 partes iguales	

Fuente: La norma JIS B7507 el método de graduación

5.1.5.7 Medición con calibrador vernier

- Lectura de un calibrador en el sistema internacional. En forma general, los pasos para tomar la lectura indicada por en un calibrador universal estándar con escala en milímetros, son los siguientes:

PASO 1: En la escala fija o principal del calibrador la lectura se toma, siempre, antes del cero del vernier y corresponderá a la lectura en milímetros.

PASO 2: En seguida, se deben contar el número de líneas o divisiones en la escala vernier o móvil (del cursor), hasta donde una de ellas coincide o esté alineada con una línea de la escala fija.

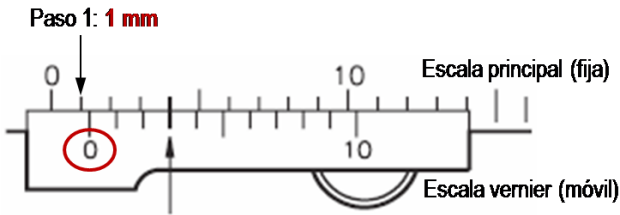
PASO 3: Después, se suman los números obtenidos en la escala fija y en la escala vernier y así se obtendrá la lectura indicada por el instrumento.

Para poder entender el proceso de lectura de un calibrador, se presentan los pasos anteriores en tres ejemplos de lectura.

A. Escala en milímetros: vernier con 10 divisiones.

$$\text{Resolución} = \frac{L}{NDV} = \frac{1\text{mm}}{10 \text{ divisiones}} = 0,1\text{mm}$$

(15)

 <p>Paso 1: 1 mm</p> <p>Escala principal (fija)</p> <p>Escala vernier (móvil)</p> <p>Paso 2: 0.3 mm (División coincidente ó alineada)</p>	LECTURA	
	1.0 mm	Escala fija
	0.3 mm	Escala vernier (3ª línea)
1.3 mm	Lectura final	

B. Escala en milímetros: vernier con 20 divisiones.

$$\text{Resolución} = \frac{L}{NDV} = \frac{1\text{mm}}{20 \text{ divisiones}} = 0,05\text{mm}$$

(16)

<p>Paso 1: 73.00 mm (Escala principal ó fija)</p> <p>Paso 2: 0.65 mm (Escala vernier ó móvil)</p> <p>(13 líneas × 0.05)</p>	LECTURA	
	73.00 mm	Escala fija
	0.65 mm	Escala vernier (13 líneas × 0.05)
	73.65 mm	Lectura final

Fuente: Autor

C. Escala en milímetros: vernier con 50 divisiones.

$$\text{Resolución} = \frac{L}{NDV} = \frac{1\text{mm}}{50 \text{ divisiones}} = 0,02\text{mm}$$

(17)

<p>Paso 1: 68.00 mm (Escala principal ó fija)</p> <p>Paso 2: 0.32 mm (Escala vernier ó móvil)</p> <p>(16 líneas × 0.02)</p>	LECTURA	
	68.00 mm	Escala fija
	0.32 mm	Escala vernier (16 líneas × 0.02)
	68.32 mm	Lectura final

Fuente: Autor

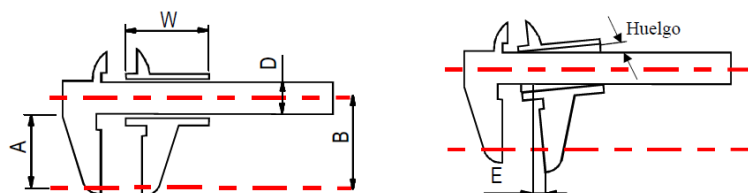
5.1.5.8 Errores de medición con calibradores. Los siguientes factores afectan la exactitud de medición con calibradores:

- La colocación del objeto a medir en diferentes posiciones de las mandíbulas. Si la distancia entre el objeto a medir y la escala del vernier es 30 mm, e_{jm} y el ángulo de inclinación es solamente 1,15 minutos, puede ocurrir un error de la indicación de 0,01 mm.

- Las diferentes presiones al apretar el cursor. Operadores con experiencia presionan el cursor contra el objeto a calibrar con una fuerza entre 1 y 7 newton. Personas no experimentadas pueden tener valores más altos todavía. Los valores de la fricción están entre 2 y 4 N aproximadamente. Los errores de medición causados por estos efectos fácilmente pueden estar en el orden de 0,02 mm.. Dando un error aproximado de 0.03 mm. Esta manera de medir nos lleva a que no se cumpla una ley básica de metrología, también llamada la “Ley de Abbe”. En breves palabras esta ley dice que el objeto a medir debe estar en línea con la escala de medición.
- Error de ABBE. En 1890 Ernst Abbe formalizo lo que se reconoce como principio de Abbe, el cual establece que: “solo se puede obtener máxima exactitud cuando el eje de medición del instrumento está alineado con el eje del objeto que está siendo medido”.

La construcción de los calibradores no cumple con el principio de Abbe. Si se considera que entre el cursor y las superficies en guías existe un huelgo con un juego máximo de 36.3 m (ángulo de inclinación: 1.15 minutos) que permite el deslizamiento tal que conociendo la dimensión del cursor que apoya en la superficie guía (w) se puede estimar el error (E) sobre la línea de medición.

Figura 30. Error de ABRE



Fuente: Guía técnica sobre trazabilidad e incertidumbre en metrología dimensional

$$E = A \cdot \frac{\text{huelgo}}{w} \quad (18)$$

Ejemplo: Para un calibrador de 150 mm

Si:

A = 40 mm

Huelgo = 36,3 μm

W = 53 mm

$$|E = 40 \text{ mm} \cdot \frac{0.0363 \text{ mm}}{53 \text{ mm}} = 0,0274 \text{ mm}$$

$$E \approx 30 \text{ } \mu\text{m}$$

- Error de paralaje. Debido a que el operador no se encuentra apropiadamente ubicado con respecto a la superficie de la escala principal se comete de paralaje, un error que se presenta en la lectura de la escala vernier debido a que la escala vernier se encuentra separado de la escala principal generándose un posible error por falta de perpendicularidad.

El error de perpendicularidad de la lectura (P) depende de la distancia (a) de separación entre la escala principal y la escala vernier y de la desviación óptica del operador (DO)

$$P = \frac{DO \cdot a}{DF} \quad (19)$$

El error P es en la lectura de la escala vernier y para considerar su efecto en la medición hay que transformarlo tomando en cuenta la resolución y separación de las líneas de vernier en un error en la distancia entre mordazas.

$$x = \frac{P \cdot DM}{ev} \quad (20)$$

Dónde:

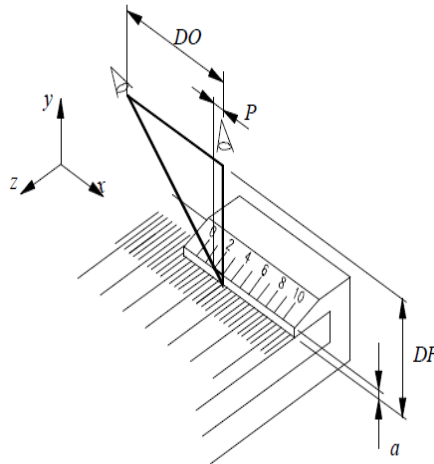
x : Error en la medición debido al error de paralaje

P : Error de perpendicularidad

DM: División mínima de la escala vernier

Ev: Espacio entre marcas de la escala vernier sobre el cursor

Figura 31. Error de paralaje en calibrador con vernier



Fuente: Guía técnica sobre trazabilidad e incertidumbre en metrología dimensional

Ejemplo: Para un calibrador de 150 mm

Si:

$$DO = 32,5 \text{ mm}$$

$$A = 0,3 \text{ mm}$$

$$DF = 300 \text{ mm}$$

$$DM = 0,05 \text{ mm}$$

$$Ev = 1,95 \text{ mm}$$

$$P = \frac{32,5 \text{ mm} \cdot 0,3 \text{ mm}}{300 \text{ mm}} = 0,033 \text{ mm} \quad (21)$$

$$x = \frac{0,033 \text{ mm} \cdot 0,05 \text{ mm}}{1,95 \text{ mm}} = 0,000846 \text{ mm} \quad (22)$$

$$x = 0,85 \mu\text{m}$$

5.1.5.9 Límites de error (según NTE INEN 1 822) [8]. Los límites de error G son una función de la longitud medida. Se calculan con base en las siguientes ecuaciones:

Tabla 4. Límites de error (Según NTE INEN 1 822)

Para pie de rey análogos con Vernier: 0,1 mm y 0,05 mm	Para pie de rey análogos y digitales con vernier: 0,02 mm, resolución: 0,01 mm
$G = (20 + l / 10 \text{ mm}) \mu\text{m} \geq 50 \mu\text{m}$	$G = (22 + l / 50\text{mm}) \mu\text{m}$

Fuente: NTE INEN 1 822

Los valores obtenidos se dan con aproximación a 0,01 mm (según norma DIN 1333, parte 2). La temperatura de referencia debe ser 20°C.

De lo anterior resulta evidente que los límites de error deben ser siempre mayores que el incremento digital o la lectura del VERNIER o escala circular. Esto es válido sobre todo para longitudes grandes.

Las ecuaciones se aplican para condiciones en las que la dirección de la fuerza aplicada durante la medición no cambia. Cuando cambia y para mediciones hechas con la barra de profundidad, los valores obtenidos para los límites de error se deben incrementar en 20 μm. En la tabla siguiente se indican los límites de error calculados para algunas longitudes seleccionadas:

Tabla 5. Errores máximos permitidos para pie de rey

Longitud a medir l mm	Límites de error G ¹) en μm		
	Valor de división de escala a valor del Vernier		Resolución digital
	0,1 y 0,05 mm	0,02 mm	0,01 mm
50	50	20	20
100			
200			
300			
400	60	30	30
500	70		
600	80		
700	90		
800	100	40	40
900	110		
1000	120		
1200	140		
1400	160	50	---
1600	180		
1800	200	60	
2000	220		

Fuente: NTE INEN 1 822

Tabla 6. Tolerancia máxima de paralelismo de las cuchillas para medición de exteriores

Alcance de la Indicación L(mm)	Máxima Tolerancia de paralelismo t_{parl} (μm)
0	10
100	10
200	10
300	15
400	15
500	20

Fuente: ISO 6906-1984

Nota: Para las cuchillas de medición de interiores el valor t_{parl} es 10 μm para cualquier alcance de medición.

Tabla 7. Para pie de rey con división de escala de 0.01 mm 0.02 mm

Alcance de indicación L(mm)	Longitud mínima para cuchilla de exterior a 1 (mm)	Longitud mínima para cuchilla interior a 2(mm)
150	30	4
200	40	6
250	50	6
300	50	6
400	55	8
500	55	8

Fuente: ISO 6906 – 1984

Tabla 8. Para pie de rey con división de escala de 0.01 mm y 0.05 mm

Alcance de indicación L(mm)	Longitud mínima para cuchilla de exterior a 1 (mm)	Longitud mínima para cuchilla interior a 2(mm)
135	35	4
160	40	6
200	50	6
250	50	6
300	60	8
500	80	8

Fuente: ISO 3599 – 1976

5.1.6 Descripción para calibración de calibradores tipo pie de rey

5.1.6.1 *Equipos y materiales para calibración de calibradores tipo pie de rey.* Para la calibración de pie de rey se emplearan preferentemente bloques patrones longitudinales.

5.1.6.2 *Calibración de mordazas para mediciones de exteriores.* La Calibración de las mordazas para mediciones exteriores se utiliza como patrones calibres de grado de exactitud 2, según la norma DIN / ISO 3650.

5.1.6.3 *Calibración de mordazas para mediciones de interiores.* La calibración de las mordazas para mediciones interiores se utiliza patrones cilíndricos calibres de grado de exactitud 2. Se acostumbra utilizar un anillo de 30 mm de diámetro aproximado, según norma DIN 2250, parte 2.

5.1.6.4 *Calibración de la varilla para mediciones de profundidad.* La calibración de la varilla de profundidad se utiliza una mesa de mármol de grado 0 de planitud, como referencia.

Nota 1: Para cualquiera de las calibraciones anteriores también puede emplearse soportes rígidos de bloque patrón.

Nota 2: Para comprobar el posible desgaste de las mordazas de medida externa se examina el pie de rey con las mordazas cerradas a contraluz.

Nota 3: La comprobación de la planitud de las superficies de contacto se hará mediante vidrios ópticos plano-paralelos de planitud igual o mejor a $0,5 \mu\text{m}$ o con reglas de arista biseladas.

Nota 4: Se dispondrá de todo lo necesario para la adecuada limpieza de los patrones e instrumentos que puedan intervenir en la calibración, para lo cual se dispondrá de paños suaves o algodón, guantes de algodón o látex.

5.1.7 *Operaciones previas para calibración de calibradores tipo pie de rey*

5.1.7.1 *Trazabilidad patrones para calibración de calibradores tipo pie de rey.* Verificar que los patrones a ser utilizados han sido calibrados y que un certificado válido esté disponible.

5.1.7.2 *Condiciones ambientales para calibración de calibradores tipo pie de rey.* Para el conocimiento de la temperatura ambiente, es recomendable contar con un sensor de resolución igual o inferior a $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ situado próximo a la zona de medida.

Para la calibración de pie de rey con sus tolerancias o límites de error bastante amplios los efectos de variaciones de temperatura se pueden prácticamente despreciar.

Sin embargo es un buen ejercicio tener un estimativo del orden de magnitud de este efecto, principalmente puede haber dos efectos de temperatura durante la calibración.

Diferencia de temperatura entre el instrumento a calibrar y el patrón. Diferencia en temperatura entre la temperatura de ambiente y temperatura de referencia.

Asumimos que un pie de rey de 300 mm al calibrarlo en el punto 131,4 mm tiene una diferencia de temperatura respecto al patrón de 1 K, la diferencia en longitud sería (coeficiente de dilatación térmica $\alpha = 11,5 \times 10^{-6} \times \text{K}^{-1}$ para pie de rey y patrón):

$$131,4 \text{ mm} \times 11,5 \times 10^{-6} \times \text{K}^{-1} \times 1 \text{ K} = 1,5 \text{ } \mu\text{m} .$$

Esto significa una diferencia de solamente 3% respecto a los límites de error de 50 μm para el pie de rey la cual es despreciable.

Por el otro lado si la temperatura de ambiente en el cual se calibra el instrumento es más alta o más baja que la temperatura de referencia de 20°C, tanto el patrón como el pie de rey se dilatan o contraen en la misma dirección y en la misma medida, suponiendo que los coeficientes de dilatación α son iguales.

5.1.7.3 *Condiciones previas para la calibración de un pie de rey.* Este debe encontrarse perfectamente identificado en lo que se refiere a marca, modelo y número de serie. En el caso que no exista ninguno de estos datos, se procederá a la identificación del instrumento.

- La calibración se realizara en un recinto acondicionado a una temperatura que se mantenga entre los límites 20 °C \pm 2°C.
- Se procederá a preparar el conjunto de patrones que van a ser utilizados limpiándolos cuidadosamente.
- Una vez limpios, los patrones a emplear y el pie de rey se situara en la mesa de trabajo dejándolos estabilizar al menos 1 hora.
- Se hará una prueba de funcionalidad de las principales partes del pie de rey como son tornillo de ajuste según el tipo de pie de rey, perfecto deslizamiento de las partes móviles, etc. De presentar algún problema anotar en la parte de observaciones del formato de calibración No LPC FC 12-01.
- Antes de proceder a la calibración del pie de rey se examinara el correcto funcionamiento de este, así como el estado de las mordazas de medición.

5.1.7.4 *Proceso de calibración de pie de rey.* El proceso de calibración se deberá realizar para cada uno de los palpadores (mordaza y varilla de profundidad) de medida de que disponga el pie de rey.

- Calibración de las mordazas para medidas de exteriores. Como el pie de rey es un instrumento para mediciones con tolerancias relativamente amplias no es necesario calibrarlo en un número muy alto de puntos de su escala. Los puntos en los cuales se sugiere calibrar son los siguientes.

Tabla 9. Posiciones de medición para diferentes rangos de medida

Rango del pie de rey hasta:	PUNTOS DE CALIBRACIÓN:							
	0	41,3	131,4	243,5	281,2	418,1	700	900
mm								
200	X	X	X					
250	X		X	X				
300	X		X		X			
500	X		X		X	X		
750	X		X		X	X	X	
1000	X		X			X		X

Fuente: Curso de metrología aplicada módulo longitud

Para la realización de la calibración de las mordazas para medidas de exteriores esta se calibran con bloques patrón longitudinales los puntos de la escala, que se sugiere calibrar son de acuerdo al rango del pie de rey. En cada uno de esos puntos se realizan tres reiteraciones o mediciones, procurando tomar la medida en zonas diferentes de los

contactos a fin de comprobar el paralelismo de los mismos. Las medidas deben ser tomadas en los valores que marca el nonio, evitando en lo posible el error de paralaje.

Para evitar un error debido a una excesiva presión se tendrá la precaución de no ejercer presión en el momento de la lectura. Una vez concluidas las mediciones, es decir, realizadas las tres reiteraciones en cada uno de los puntos de medida se procede a efectuar los cálculos para hallar la incertidumbre.

Si se utilizan juegos o cajas de bloques calibres completos para calibrar el punto 131,4 mm. ej. habrá que unir los siguientes tres bloques:

$$100 \text{ mm} + 30 \text{ mm} + 1,4 \text{ mm} = 131,4 \text{ mm}.$$

- Calibración de mordazas para medidas de interiores [9]. Para la realización de la calibración de las mordazas para medidas interiores en primer lugar se realizará una verificación visual del buen estado de la puntas con el fin de no observar rebabas, picaduras o cualquier otro defecto que pudiera afectar a la posterior medición con el equipo. Una vez realizada esta primera comprobación y si el resultado es correcto se calibraran con anillos patrón según la norma DIN 2250, se acostumbra a utilizar un anillo de 30 mm de diámetro aproximado. En este punto se realizarán tres reiteraciones o mediciones.

Las medidas deben ser tomadas en los valores que marca el nonio, evitando en lo posible el error de paralaje. Para evitar un error debido a una excesiva presión se tendrá la precaución de no ejercer presión en el momento de la lectura. Una vez concluidas las mediciones, es decir, realizadas las tres reiteraciones en el punto de medida se procede a efectuar los cálculos para hallar la incertidumbre.

- Calibración de la varilla de profundidad. Para la realización de la calibración de la varilla de profundidad en primer lugar se realizará una verificación visual del buen estado de la varilla a efectos que ésta no se encuentre desgastada, sobresalga del cuerpo del pie de rey o no esté a nivel del mismo. Se comprobará, también, la rectitud de la misma a fin que no posea deformaciones importantes.

Para la calibración de la varilla de profundidad abrimos el pie de rey aproximadamente 5mm para que la varilla quede fuera del cuerpo fijo del pie de rey para tomar la medida cerramos el pie de rey sobre la mesa de planitud de forma que la varilla este perpendicular a las dos superficies se observa la lectura y se toma la medida.

5.1.8 Cálculos para calibración de calibradores tipo pie de rey. Para la estimación y cálculo de la incertidumbre se seguirá lo establecido en el procedimiento (LPC PC 22) “ESTIMACION DE LA INCERTIDUMBRE DE LAS CALIBRACIONES QUE REALIZA EL LPC”

En la tabla de calibración se reportará los errores del instrumento los cuales se calcularán de la siguiente manera:

$$E = L - L_{bp} \quad (23)$$

E : Error del valor de indicación del pie de rey.

L_c : Valor de indicación del pie de rey.

L_{bp}: Longitud del bloque patrón.

5.1.8.1 Estimación de la incertidumbre para calibración de calibradores tipo pie de rey
Incertidumbre en la calibración de calibradores con vernier

Mensurando: La corrección de la lectura del calibrador tipo pie de rey (E), cuando entre sus mordazas se coloca un bloque de caras paralelas de longitud conocida, definida como la diferencia entre la longitud del bloque patrón (l_{bp}) y la lectura del calibrador (l_c).

Medición directa.

$$e = l_{bp}^{t1} - l_c^{t2} \quad (24)$$

Dónde:

E : Corrección de la lectura del calibrador

L_{bp}^{t1} : Longitud del bloque patrón a la temperatura que se encuentra el bloque

L_c^{t2} : lectura del calibrador a la temperatura que se encuentra el calibrador

Corrigiendo por efecto de la temperatura:

$$E = l_{bp}(1 + \alpha_{bp}\Delta t_{bp}) - l_c(1 + \alpha_c\Delta t_c) \quad (25)$$

$$E = l_{bp} + l_{bp}\alpha_{bp}\Delta t_{bp} - l_c - l_c\alpha_c\Delta t_c \quad (26)$$

$$E = l_{bp} - l_c + l_{bp}\alpha_{bp}\Delta t_{bp} - l_c\alpha_c\Delta t_c \quad (27)$$

Para simplificar el manejo de las ecuaciones se definen dos diferencias auxiliares

$$\delta\alpha = \alpha_c - \alpha_{bp} \quad (28)$$

$$\alpha_c = \delta\alpha + \alpha_{bp} \quad (29)$$

$$\delta T = \Delta T_c - \Delta T_{bp} \quad (30)$$

$$E = l_{bp}(1 + \alpha_{bp}\Delta T_{bp}) - l_c[1 + (\delta\alpha + \alpha_{bp})\Delta T_c] \quad (31)$$

$$E = l_{bp}(1 + \alpha_{bp}\Delta T_{bp}) - l_c[1 + \delta\alpha\Delta T_c + \alpha_{bp}\Delta T_c] \quad (32)$$

$$E = l_{bp} + l_{bp}\alpha_{bp}\Delta T_{bp} - l_c - l_c\delta\alpha\Delta T_c + l_c\alpha_{bp}\Delta T_c \quad (33)$$

Si suponemos que $l_{bp} = l_c$

$$E = l_{bp} - l_c + l_{bp}\alpha_{bp}\Delta T_{bp} - l_c\delta\alpha\Delta T_c + l_{bp}\alpha_{bp}\Delta T_c \quad (34)$$

$$E = l_{bp} - l_c + l_{bp}\alpha_{bp}(\Delta T_{bp} - \Delta T_c) - l_c\delta\alpha\Delta T_c \quad (35)$$

Modelo Matemático

$$E = l_{bp} - l_c + l_{bp}\alpha_{bp}\delta T - l_c\delta\alpha\Delta T_c \quad (36)$$

Ahora, de esta ecuación se encuentran los coeficientes de sensibilidad de cada componente:

$$\frac{\partial E}{\partial(l_{bp})} = 1 - \alpha_{bp} \delta T \quad (37)$$

$$\frac{\partial E}{\partial(l_c)} = -1 - \Delta t_c \delta \alpha \quad (38)$$

$$\frac{\partial E}{\partial(\alpha_{bp})} = -l_{bp} \delta T \quad (39)$$

$$\frac{\partial E}{\partial(\delta t)} = -l_{bp} \alpha_{bp} \quad (40)$$

$$\frac{\partial E}{\partial(\Delta t)} = l_c \delta \alpha \quad (41)$$

$$\frac{\partial E}{\partial(\delta \alpha)} = -l_c \Delta t_c \quad (42)$$

Con lo cual el cuadrado de la incertidumbre queda finalmente:

$$u^2(E) = (1 - \alpha_{bp} \delta T)^2 * u^2(l_{bp}) + (-1 - \Delta t_c \delta \alpha)^2 * u^2(l_c) + (-l_{bp} \delta T)^2 * u^2(\alpha_{bp}) + (-l_{bp} \alpha_{bp})^2 * u^2(\delta T) + (l_c \delta \alpha)^2 * u^2(\Delta t_c) + (-l_c \Delta t_c)^2 * u^2(\delta \alpha) \quad (43)$$

Incertidumbre de la lectura del pie de rey u_L

Esta incertidumbre se considera el resultado de cinco contribuciones: el error de Abbe, el efecto de paralaje, la falta de paralelismo, la resolución y la repetitibilidad.

$$L_c = L_{bp} + \Delta L + \Delta L_{res} + \Delta L_{Abbe} + \Delta L_{\parallel} \quad (44)$$

Dónde:

$L_c =$ Lectura en el calibrador con vernier

$L_{bp} =$ Longitud del bloque patrón

$\Delta L =$ Corrección sistemática (error)

$\Delta L_{res} =$ Corrección por resolución

$\Delta L_{Abbe} =$ Corrección por error de Abbe (ley de Abbe)

$\Delta L_{\parallel} =$ Corrección por error de paralelidad de las puntas de medición.

La incertidumbre de calibración del pie de rey se la estimará de la siguiente manera:

$$UL = 2 * \sqrt{(uL_p)^2 + (u\Delta L)^2 + (u\Delta L_{res})^2 + (u\Delta L_{Abbe})^2 + (u\Delta L_{\parallel})^2} \quad (45)$$

A continuación se determinara cada uno de los términos.

Debido a la repetibilidad del instrumento.

$$u(\overline{\Delta L}) = \frac{S(\overline{\Delta L})}{\sqrt{n}} \quad (46)$$

$$S(\overline{\Delta L}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2} \quad (47)$$

Dónde:

$S(\overline{\Delta L})$: Desviación estándar experimental

L_i : Lectura del pie de rey

\bar{L} : Lectura Promedio

n : Numero de mediciones realizadas

Debido al error de Abbe: Básicamente se debe al posible desvío de la perpendicularidad de la cuchilla de medida de exteriores o interiores respecto a la escala principal del pie de rey

$$u(abbe) = \frac{(h*a)/l}{\sqrt{12}} \quad (48)$$

Debido al bloque patrón: Se considera la siguiente contribución incertidumbre U según certificado de calibración ($K=2$)

$$u(L_{bp}) = \frac{U_{BPcal}}{K} \quad (49)$$

Debido al Paralelismo de las cuchillas de medición: Se toma el valor que establece la norma ISO 6906 como máximo admisible: $\pm 10\text{mm}$, el cual se considera con una distribución de probabilidad rectangular:

$$u(\text{paralelismo}) = \frac{10\mu}{\sqrt{3}} = 5.77 \mu \quad (50)$$

Debido al efecto de paralaje

$$U(\text{paralaje}) = \frac{\frac{P \cdot DM}{ev}}{\sqrt{3}} \quad (51)$$

Dónde:

P : Error de perpendicularidad,

DM : División mínima de la escala vernier,

ev : Espacio entre marcas de la escala vernier sobre el cursor.

Debido a la resolución del vernier

$$U(\text{resolución}) = \frac{\text{Resolución}}{\sqrt{12}} \quad (52)$$

Debido al coeficiente de expansión térmica $u(\alpha_{bp})$: El material de los bloques es acero, se supone un 10 % de variación de ese coeficiente, con una distribución de probabilidad rectangular resultando

$$u(\alpha_{bp}) = \frac{10\% \cdot 11,5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{^\circ\text{C}}}{\sqrt{3}} = 6.6395 E - 07 \quad (53)$$

Incertidumbre de las diferencias de temperatura entre los bloques patrón y el calibrador $u(\delta t)$

Se supone una supervisión y control de las condiciones ambientales de temperatura de 20°C y 1°C , asignando un tipo de distribución de probabilidad rectangular a este intervalo resulta:

$$u(\delta t) = \frac{1^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 0,577350269 \quad (54)$$

Incertidumbre de las diferencias de temperatura entre el ambiente y el calibrador $u(\Delta t_v)$

Se supone una supervisión y control de las condiciones ambientales de temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, asignando un tipo de distribución de probabilidad rectangular a este intervalo resulta:

$$u(\Delta t_c) = \frac{1^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 0,577350269 \quad (55)$$

Incertidumbre de las diferencias de los coeficientes de expansión térmica del calibrador y de los bloques patrón. $u(\delta \alpha)$

$$u(\delta \alpha) = \frac{10\% * 11,5 * 10^{-6} * \frac{1}{^{\circ}\text{C}}}{\sqrt{3}} = 6.6395 E - 07 \quad (56)$$

Finalmente la incertidumbre combinada del error de indicación del pie de rey para un alcance específico estará determinada por la ecuación:

$$u^2(E) = (1 - \alpha_{bp} \delta T)^2 * u^2(l_{bp}) + (-1 - \Delta t_c \delta \alpha)^2 * u^2(l_c) + (-l_{bp} \delta T)^2 * u^2(\alpha_{bp}) + (-l_{bp} \alpha_{bp})^2 * u^2(\delta T) + (l_c \delta \alpha)^2 * u^2(\Delta t_c) + (-l_c \Delta t_c)^2 * u^2 \quad (57)$$

5.1.9 Ejemplo para calibración de calibradores tipo pie de rey. Calibración de un Pie de rey análogo rango de medición de 0-150 mm y resolución 0.05mm .Las condiciones de temperatura se mantiene dentro de los límites de $20^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$.

Condiciones Ambientales

Temperatura : 23.0 °C

Humedad : 60.2 %

Presión : 742.65 hPa.

Tabla 10. Toma y tratamiento de datos para la calibración de pie de rey

	Diámetro Exteriores (mm)					Diámetro Interior (mm)	Varilla de Profundidad
	Para 0	Para 41,3	Para 131,4	Para 243,5	Para 281,2	Para 29,998	Para 0
	0,00 0	41,300	131,400	243,500	281,170	29,950	0
	0,00 0	41,300	131,400	243,500	281,170	29,950	
	0,00 0	41,300	131,400	243,600	281,170	29,950	
Promedio	0,00 0	41,300	131,400	243,533	281,170	29,950	0
Desviación Estándar	0	0	0	0.05773	0	0	0

Fuente: Autor

Cálculo de la incertidumbre:

Tabla 11. Contribuciones a la incertidumbre combinada en la calibración de los pie de rey.

Fuentes	Coeficientes de sensibilidad			Contribución a la incertidumbre aU (mm)			$u^2 \cdot [\partial () / \partial (e)]^2$
	$\partial (e) / \partial (l_{bp})$	$1 - \alpha_{bp} \delta t$	0,9999885	$u(l_{bp})$	$T/(3)^{1/2}$	0,92376043	
l_c	$\partial (e) / \partial (l_c)$	$-1 - \Delta t_c \delta \alpha$	-1,00000115	$u(l_c)$	$U_{abbe} + U_{parala} + U_{parali} + U_{re} + U_{rep}$	17,13	293,5981051
α_{bp}	$\partial (e) / \partial (\alpha_{bp})$	$-l_{bp} \delta t$	-150	$u(\alpha_{bp})$	$(10\% \cdot 11,5 \cdot 10^{-6} / 1^\circ C) / (3)^{1/2}$	6,6395E-07	9,91875E-09
δt	$\partial (e) / \partial (\delta t)$	$-l_{bp} \alpha_{bp}$	-0,001725	$u(\delta t)$	$1^\circ C / (3)^{1/2}$	0,57735027	9,91875E-07
Δt_c	$\partial (e) / \partial (\Delta t)$	$-l_c \delta \alpha$	-0,0001725	$u(\Delta t_c)$	$1^\circ C / (3)^{1/2}$	0,57735027	9,91876E-09
$\delta \alpha$	$\partial (e) / \partial (\delta \alpha)$	$-l_c \Delta t_c$	-150	$u(\delta \alpha)$	$(10\% \cdot 11,5 \cdot 10^{-6} / 1^\circ C) / (3)^{1/2}$	6,6395E-07	9,91875E-09

Fuente: Autor

Tabla 12. Incertidumbre de la lectura del pie de rey $u(l_c)$

$u(l_c)$	u_{abbe}	$U_{paralaje}$	$U_{paralelismo}$ entre mordazas	$U_{resolución}$	$U_{repetibilidad}$
$(\sum U^2)^{1/2}$	$(h \cdot a / L) / (12)^{1/2}$	$(P \cdot DM / ev) / (3)^{1/2}$	$10 / (3)^{1/2}$	$res / (12)^{1/2}$	$s / (n)^{1/2}$
17,13	7,19	0,49	5,77	14,43	0,033333333

Fuente: Autor

Tabla 13. Incertidumbre total de la lectura del pie de rey $u(l_c)$

Incertidumbre combinada (u)	17.2 μm
Incertidumbre expandida (U)	34.3 μm

Fuente: Autor

Tabla 14. Resultados obtenidos para calibración de calibradores tipo pie de rey

MEDICIONES: RESULTADOS OBTENIDOS			
DESVIACION DE LA INDICACION			
Valor del Patrón (mm)	*Valor Medido (mm)	Error (μm)	e.m.p. (μm)
0,000	0,000	0	50
41,300	41,300	0	50
131,400	131,400	0	50
DESVIACION DE LA INDICACION PARA DIAMETROS INTERIORES			
Valor del patrón (mm)	*Valor Medido (mm)	Error (μm)	e.m.p. (μm)
29,998	29,950	-48	70
* Los valores de la columna Valor Medido son el promedio de tres lecturas.			
DESVIACION DE LA INDICACION PARA LA VARILLA DE PROFUNDIDAD			
Valor del patrón (mm)	*Valor Medido (mm)	Error (μm)	e.m.p. (μm)
0,000	0,000	0	70

Fuente: Autor

Evaluación

Los errores determinados en la calibración del instrumento se encuentran dentro de los límites de los errores máximos permitidos (emp), establecidos en la Norma Técnica Internacional ISO 3599 (1982) Norma .

Certificado / Informe elaborar el Certificado / Informe que cumpla con los requisitos del procedimiento LPCPC 01

5.2 Procedimiento para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores

5.2.1 Índice para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores.

- Objetivo
- Alcance
- Referencia
- Contenido

5.2.2 *Objetivo para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores.* Este procedimiento da lineamientos para la calibración de micrómetros.

5.2.3 *Alcance para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores.* Este procedimiento se aplica a los micrómetros diseñados para mediciones exteriores y equipadas con un sistema de amplificación de tornillo micrométrico que posea un paso de 0.5 mm o 1 mm, teniendo un rango de medición de 25 mm hasta 500 mm, y que este provisto de yunque o tope fijo con caras de medición plana, redonda y de punta.

5.2.4 *Referencia para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores*

5.2.4.1 *Documentos utilizados para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores*

- LPCPA 01, Procedimiento para la elaboración, actualización y aprobación de documentos.
- LPC PC 22, Estimación de la Incertidumbre de las calibraciones que realiza el LPC.
- Seminario Metrología de Longitudes con énfasis en calibración de micrómetros, indicador de carátula y calibradores con vernier CENAM: año 2002.
- Guía Técnica sobre Trazabilidad e Incertidumbre en Metrología Dimensional CENAM año 2008.

5.2.4.2 *Documentos a ser utilizado conjuntamente para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores.*

- LPC PC 01, Procedimiento para elaboración de Certificados de Calibración
- NTE INEN 1821:2001, Micrómetros para medición de exteriores. Requisitos
- LPC FC 13, Formato para calibración de micrómetros

5.2.5 *Generales para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores*

5.2.5.1 *Generalidades sobre el micrómetro de exteriores de dos contactos.* Los micrómetros al igual que el pie de rey pertenecen al grupo de instrumentos de medición más utilizados en la industria, debido a su construcción robusta y su manejo sencillo. La principal diferencia respecto al pie de rey es su exactitud mayor.

Su escala longitudinal se basa en una rosca de alta precisión, situada dentro de la escala micrométrica, de paso pequeño (normalmente $p= 0,5$ ó 1 mm); cada avance longitudinal de valor p dado al contacto móvil, supone un desplazamiento circunferencial πD , siendo D el diámetro del tambor sobre el que se ha grabado la lectura.

Con ello se pueden principalmente medir:

- Dimensiones y diámetros y externos
- Dimensiones y diámetros internos

Además existen una serie de ejecuciones especiales para la medición de roscas, engranajes, etc.

Vienen por lo general con indicación análoga con una división mínima de $0,01$ mm o sea 10 μm y hoy día también con indicación digital con una división mínima de $0,001$ mm o sea 1 μm .

Los diferentes tipos del instrumento y las exigencias respecto a dimensiones, materiales y exactitudes están fijados en normas internacionales y nacionales.

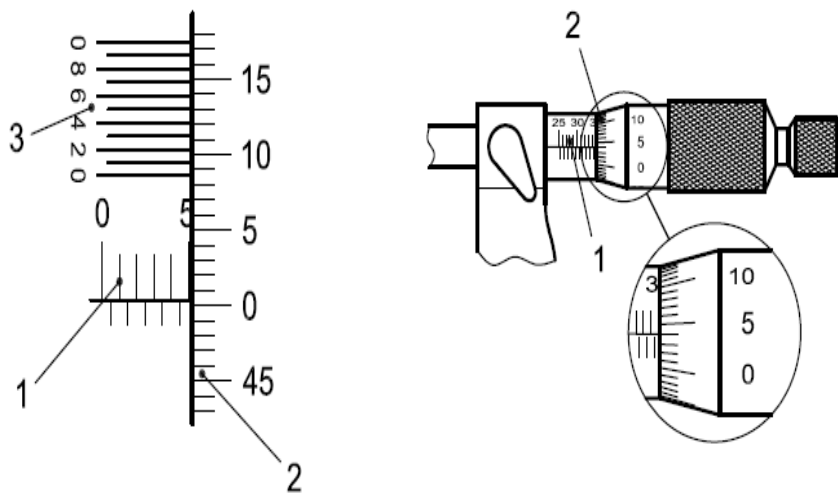
5.2.5.2 Medición con micrómetro sistema métrico. Lectura de un micrómetro normal:

La línea de revolución sobre la escala, está graduada en milímetros, cada pequeña marca abajo de la línea de revolución indica el intermedio 0.5 mm entre cada graduación sobre la línea.

1 Escala principal

2 Escala secundaria

Figura 32. Lectura de un micrómetro normal



Fuente: Curso de metrología aplicada longitud.

Lectura de un micrómetro con escala vernier:

1 Escala principal	=	5	mm
2 Escala secundaria	=	0.00	mm
3 Escala vernier	=	0,005	mm
Lectura total	=	5.005	mm

5.2.5.3 Errores de medición con micrómetros. Como todo instrumento de medida, la lectura proporcionada por un micrómetro está sujeta a errores, pudiendo ser éstos de dos clases:

- Errores sistemáticos para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores. Son cuando el error es constante para toda posible lectura a lo largo del alcance de medida del instrumento; así, por ejemplo, si mide 0.03 mm. de menos, debemos estar advertidos de que todas las medidas que se efectúan con dicho aparato están disminuidas en 0.03 mm.

Los errores sistemáticos de un micrómetro son originados por el uso del instrumento, principalmente por el desgaste de las bocas de los palpadores y de la rosca micrométrica. Los micrómetros modernos están equipados con dispositivos de corrección que anulan estos defectos y, por lo tanto, los errores sistemáticos.

Para corregir la holgura de la rosca micrométrica, proceder de la siguiente forma: Se desenrosca el tambor giratorio hasta que descubra la tuerca de reglaje m que va roscada en el extremo ranurado del tubo. Esta tuerca lleva interiormente un ajuste cónico que obliga a cerrarse al tubo si aquélla se desplaza, eliminando de esta forma la holgura de la rosca del tornillo micrométrico.

- Errores variables. Son, como su nombre indica, errores que varían según la dimensión que se mide. Tales errores proceden, principalmente, de posibles variaciones en el paso del tornillo micrométrico.

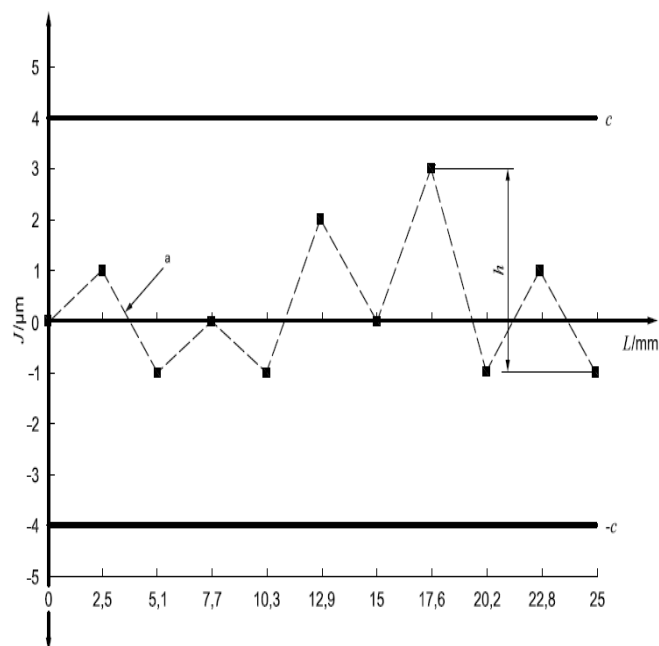
No es posible corregir en el micrómetro un error variable, pero sí conocer el error que comete el instrumento para toda posible medida: para ello es necesario establecer lo que se denomina "curva de errores" del aparato. Dicha curva se traza

una vez conocidos los errores que comete el instrumento a lo largo de su alcance de medida.

5.2.5.4 Límites de error (según NTE INEN 1 821)

- Definiciones para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores
- Error de la indicación, f_{\max} . El error de la indicación f_{\max} en los micrómetros para mediciones exteriores es la distancia entre las ordenadas del punto más alto y del más bajo en el diagrama de la desviación. f_{\max} se llama también “rango de desviación”.
- Error del elemento de medición, f_{me} . El error del elemento de medición, f_{me} solo es la distancia entre las ordenadas del punto más alto y del más bajo en el diagrama de la desviación, en la que las influencias del y aunque de medición y el arco están eliminadas.

Figura 33. Diagrama del rango de la desviación f_{\max}



Fuente: NTE INEN 1 821

Tabla 15. Errores máximos permitidos para micrómetros de exteriores (NTE 1 821).

Rango de medición	Rango de desviación de la indicación $f_{\text{máx}}$	Tolerancia de paralelismo de las superficies de medición para una fuerza de 10 Newton		Deflexión permitida del arco para una fuerza de 10 Newton
		No de anillos o líneas de interferencia	μm	
mm	μm		μm	μm
0 hasta 25	4	6	2	2
25 hasta 50	4	6	2	2
50 hasta 75	5	10	3	3
75 hasta 100	5	10	3	3
100 hasta 125	6	-	3	4
125 hasta 150	6	-	3	5
150 hasta 175	7	-	4	6
175 hasta 200	7	-	4	6
200 hasta 225	8	-	4	7
225 hasta 250	8	-	4	8
250 hasta 275	9	-	5	8
275 hasta 300	9	-	5	9
300 hasta 325	10	-	5	10
325 hasta 350	10	-	5	10
350 hasta 375	11	-	6	11
375 hasta 400	11	-	6	12
400 hasta 425	12	-	6	12
425 hasta 450	12	-	6	13
450 hasta 475	13	-	7	14
475 hasta 500	13	-	7	15

Fuente: NTE 1 821.

NOTA: El error permitido de la indicación ($f_{\text{máx}}$) comprende las desviaciones del elemento de medición, de planitud y de paralelismo de las superficies de medición y las desviaciones que provengan de la flexibilidad del arco.

5.2.6 Descripción para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores

5.2.6.1 Aparatos y equipos para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores. El error permitido de la indicación f_{\max} puede comprobarse con bloques calibres con grado de exactitud 1, de acero especial, según la norma NTE INEN 1821.

Se deben elegir combinaciones de bloques calibre que permitan ensayar el husillo de medición, tanto en las posiciones que correspondan a múltiplos enteros del paso nominal así como también en posiciones intermedias. La norma NTE INEN 1821 sugiere que es conveniente calibrar los micrómetros en los siguientes puntos de la escala:

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

Al calibrar micrómetros con bloques de estas medidas resultan valores de medición para varios ángulos de giro, con los que se pueden detectar eventualmente desviaciones periódicas existentes.

Si se utilizan juegos o cajas de bloques calibres completos para calibrar el punto 17,6 mm p.ej. habrá que unir los siguientes tres bloques: 10 mm + 5 mm + 1,7 mm + 1,0 mm = 17,6 mm.

Para el control de la planitud de micrómetros nuevos se puede utilizar como patrón un vidrio plano paralelo, de 30 mm de diámetro aprox., con una desviación de planitud de 0,1 μm las mediciones deberán hacerse con una lámpara de luz monocromática o bajo una luz blanca.

Para el control del paralelismo de las superficies de medición de micrómetros nuevos se utiliza un juego de 4 planos paralelos ópticos de diferentes espesores entre si (con diferencias de $\frac{1}{4}$ de paso), con las siguientes especificaciones:

Espesores: 12,000, 12,120, 12,250, 12,370 mm, Diámetro: 30 mm aprox.

Planitud: $< 0,15 \mu\text{m}$, Paralelidad: $\leq 0,6 \mu\text{m}$, Tolerancia del espesor: $\pm 0,01 \text{ mm}$.

5.2.7 Operaciones previas para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores

5.2.7.1 Trazabilidad patrones para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores. Verificar que los patrones a ser utilizados han sido calibrados y que un certificado válido esté disponible.

5.2.7.2 Condiciones ambientales para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores. Para la calibración micrómetros los efectos de variaciones de temperatura se pueden despreciar en muchos casos observando algunas reglas durante la calibración. Sin embargo, es un buen ejercicio tener un estimativo del orden de magnitud de este efecto. Principalmente puede haber tres efectos de temperatura durante la calibración:

- Diferencia de temperatura entre el instrumento a calibrar y el patrón.
- Diferencia en temperatura entre la temperatura de ambiente y temperatura de referencia.
- Diferencia por la incertidumbre de los coeficientes de dilatación térmica α .

Asumimos que un micrómetro de 25 mm al calibrarlo en el punto máximo, 25 mm, tiene una diferencia de temperatura respecto al patrón de 1 K, la diferencia en longitud sería (coeficiente de dilatación térmica $\alpha = (11,5 \pm 1,0) \times 10^{-6} \times \text{K}^{-1}$ para micrómetro y patrón): $25 \text{ mm} \times 11,5 \times 10^{-6} \times \text{K}^{-1} \times 1 \text{ K} \approx 0,3 \mu\text{m}$.

Esto significa una diferencia de solamente 7,5% respecto a los límites de error f_{max} de 4 μm para el micrómetro la cual es despreciable.

Por el otro lado si la temperatura de ambiente en el cual se calibra el instrumento es más alta o más baja que la temperatura de referencia de 20°C, tanto el Bloque patrón como

el micrómetro se dilatan o contraen en la misma dirección y en la misma medida, supuesto que los coeficientes de dilatación α son iguales.

Quedaría solamente una componente de error debido a la incertidumbre del coeficiente α tanto en el micrómetro como en el patrón. Si asumimos una diferencia entre la temperatura de referencia de 20°C y la temperatura de ambiente de $\pm 5^\circ\text{C}$, y esta componente sería: $25 \text{ mm} \times 2 \times 1,0 \times 10^{-6} \times \text{K}^{-1} \times 5 \text{ K} / \sqrt{3} = 0,14 \text{ } \mu\text{m}$

Esta componente también se puede despreciar, por ser tan pequeña.

De lo anterior se pueden derivar las siguientes conclusiones:

- La temperatura del ambiente en la cual se calibra el micrómetro no es muy crítico.
- Es necesario almacenar el micrómetro y el patrón en la misma temperatura por un tiempo prudente (por lo menos una hora) para que puedan asumir la misma temperatura.
- Al manejar tanto el micrómetro como el patrón hay que tener cuidado no transmitir el calor de la mano a estos elementos.

Para proceder a la calibración de un micrómetro, este debe encontrarse perfectamente identificado en lo que se refiere a marca, modelo y número de serie. En el caso que no exista ninguno de estos datos, se procederá a la identificación del instrumento.

La calibración se realizará en un recinto acondicionado a una temperatura que se mantenga entre los límites $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$.

Se procederá a preparar el conjunto de patrones que van a ser utilizados limpiándolos cuidadosamente.

Una vez limpios, los patrones a emplear y el micrómetro se situará en la mesa de trabajo dejándolos estabilizar al menos 1 hora.

Se hará una prueba de funcionalidad de las principales partes del micrómetro como son movilidad del husillo, dispositivo de fijación, funcionamiento del trinquete, perfecto

deslizamiento de las partes móviles, etc. de presentar algún problema anotar en la parte de observaciones del formato de calibración No LPC FC 13-01.

5.2.8 *Proceso de calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores.* Previa a la calibración ha de comprobarse la planitud de cada una de las dos caras de medida del micrómetro y cuando proceda, el paralelismo entre ambas.

5.2.8.1 *Medición de la planitud de las caras de medición* [10]. Para la verificación de la planitud de micrómetros nuevos se aplicara el método de interferencia óptica, usando un plano óptico de cristal con desviación de $0,1\mu\text{m}$. Colocar el micrómetro sobre un soporte en posición vertical.

- Procedimiento para la verificación de las caras de medición. Colocar el plano óptico de cristal sobre la superficie de cada una de las caras de medición, desplazándola lateralmente con ligera precisión. Sin hacer fuerza sobre este, moverlo hasta observar el menor número de bandas o franjas de interferencia.

El número de franjas o bandas de interferencia indican la planitud de las caras de medición del micrómetro. Contar el número de franjas o bandas de interferencia (bandas de un mismo color) que se puedan observar sobre cada una de las superficies de medición del micrómetro y anotar el registro de medición. Determinar la desviación de la planitud multiplicando el número de franjas o bandas de interferencia por $0,3\mu\text{m}$. Una adecuada medición permite observar tres o cuatro bandas de interferencia. Los resultados de planitud para las caras de medición estarán dadas por: (Nº de bandas de interferencia) x $(0,3\mu\text{m})$.

5.2.8.2 *Verificación del paralelismo de las caras de medición.* Para comprobar el paralelismo de las caras de medición de micrómetros de exteriores utilizar un juego de cuatro paralelas ópticas de diferentes espesor: 12,000, 12,120, 12,250, 12,370 mm,

Diámetro: 30 mm aprox. Planitud: $< 0,15 \mu\text{m}$, paralelidad: $\leq 0,6 \mu\text{m}$, Tolerancia del espesor: $\pm 0,01 \text{ mm}$.

- Procedimiento para la verificación del paralelismo de las caras de medición. Colocar el micrómetro sobre el soporte en posición vertical.

Colocar cada una de las paralelas ópticas entre las superficies de medición del micrómetro bajo una lámpara de luz monocromática o luz blanca, empezando con el plano óptico de menor espesor.

Acercar las caras de medición del micrómetro girando el dispositivo regulador de la fuerza de medición (trinquete). Unas veces que ambas caras de medición hagan contacto con el plano óptico, girar el dispositivo regulador de la fuerza de medición hasta que avance tres o cuatro pasos del engranaje. Contar con el número de bandas o franjas de interferencia visibles que aparecen en las superficies de cara de medición. Sumar el número de franjas de ambas caras anotar este valor en el registro de medición. Multiplicar el valor registrado por $0,3 \mu\text{m}$, el valor obtenido representa el paralelismo de las caras de medición al utilizar dicho plano óptico.

Seleccionar el siguiente plano óptico y repetir este procedimiento. El paralelismo de las caras de medición estará dado por el mayor de los cuatro valores encontrados en los pasos anteriores.

5.2.8.3 *Determinación de los errores de indicación del micrómetro.* Seleccionar bloques de caras paralelas de tal forma que se pueda hacer mediciones para un número completo de revoluciones del eje de la rosca micrométrica como también para las posiciones intermedias.

- Procedimiento para la determinación de los errores de indicación del micrómetro. Colocar el micrómetro en un soporte y efectuar el ajuste de la indicación “cero”.

Colocar el primer bloque de caras paralelas entre las caras de medición del micrómetro, asegurándose de colocar estas sobre la zona central de las caras de medición del bloque. Acercar las caras de medición del micrómetro girando el dispositivo regulador de la fuerza de medición (trinquete). Una vez que ambas caras de medición hagan contacto con el bloque de caras paralelas, girar el dispositivo regulador de la fuerza de medición hasta que avance tres o cuatro pasos del engranaje. Registrar la lectura del micrómetro y registrar en el formato N° LPC FC 13-01. Realizar tres lecturas más para este mismo punto. Seleccionar un nuevo punto de medición y repetir este procedimiento. Calcular el promedio y su error de indicación para cada punto seleccionado.

5.2.9 *Cálculos para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores.* Para la estimación y cálculo de la incertidumbre se seguirá lo establecido en el procedimiento (LPC PC 22) “estimación de la incertidumbre de las calibraciones que realiza el lpc” En la tabla de calibración del formato LPC FC 13-01 se reportará los errores del instrumento los cuales se calcularán de la siguiente manera:

$$E = l_m - l_{bp} \quad (59)$$

Dónde:

E : Error del valor de indicación del micrómetro.

l_m : Valor de indicación del micrómetro.

l_{bp} : Longitud del bloque patrón

F_{max} = Valor máximo (Lectura del instrumento) – Valor mínimo (Lectura del instrumento)

Corrigiendo por efecto de la temperatura:

$$E = l_{bp}(1 + \alpha_{bp}\Delta t_{bp}) - l_m(1 + \alpha_m\Delta t_m) \quad (60)$$

$$E = l_{bp} + l_{bp}\alpha_{bp}\Delta t_{bp} - l_m - l_m\alpha_m\Delta t_m \quad (61)$$

$$E = l_{bp} - l_m + l_{bp}\alpha_{bp}\Delta t_{bp} - l_m\alpha_m\Delta t_m \quad (62)$$

Para simplificar el manejo de las ecuaciones se definen dos diferencias auxiliares

$$\delta\alpha = \alpha_m - \alpha_{bp} \quad (63)$$

$$\alpha_c = \delta\alpha - \alpha_{bp} \quad (64)$$

$$\delta T = \Delta T_m - \Delta T_{bp} \quad (65)$$

$$E = l_{bp}(1 + \alpha_{bp} \Delta T_{bp}) - l_m[1 + (\delta\alpha - \alpha_{bp})\Delta T_m] \quad (66)$$

$$E = l_{bp}(1 + \alpha_{bp} \Delta T_{bp}) - l_m[1 + \delta\alpha\Delta T_m - \alpha_{bp}\Delta T_m] \quad (67)$$

$$E = l_{bp} + l_{bp} \alpha_{bp} \Delta T_{bp} - l_m - l_m\delta\alpha\Delta T_m + l_m\alpha_{bp}\Delta T_m \quad (68)$$

Si suponemos que $l_{bp} = l_m$

$$E = l_{bp} - l_m + l_{bp} \alpha_{bp} \Delta T_{bp} - l_m\delta\alpha\Delta T_m + l_{bp}\alpha_{bp}\Delta T_m \quad (69)$$

$$E = l_{bp} - l_m + l_{bp} \alpha_{bp} (\Delta T_{bp} - \Delta T_m) - l_m\delta\alpha\Delta T_m \quad (70)$$

Modelo Matemático

$$\boxed{E = l_{bp} - l_m + l_{bp} \alpha_{bp} \delta T - l_m\delta\alpha\Delta T_m} \quad (71)$$

$$\frac{\partial E}{\partial(l_{bp})} = 1 - \alpha_{bp} \delta T \quad (72)$$

$$\frac{\partial E}{\partial(l_m)} = -1 - \Delta t_m \delta\alpha \quad (73)$$

$$\frac{\partial E}{\partial(\alpha_{bp})} = -l_{bp} \delta T \quad (74)$$

$$\frac{\partial E}{\partial(\delta t)} = -l_{bp} \alpha_{bp} \quad (75)$$

$$\frac{\partial E}{\partial(\Delta t)} = l_m \delta\alpha \quad (76)$$

$$\frac{\partial E}{\partial(\delta\alpha)} = -l_m \Delta t_m \quad (77)$$

Con lo cual el cuadrado de la incertidumbre queda finalmente

$$u^2(E) = (1 - \alpha_{bp} \delta T)^2 * u^2(l_{bp}) + (-1 - \Delta t_m \delta \alpha)^2 * u^2(l_m) + (-l_{bp} \delta T)^2 * u^2(\alpha_{bp}) + (-l_{bp} \alpha_{bp})^2 * u^2(\delta T) + (l_m \delta \alpha)^2 * u^2(\Delta t_m) + (-l_m \Delta t_m)^2 * u^2(\delta \alpha) \quad (78)$$

Incertidumbre en la calibración de micrómetros

Mensurando

La corrección de la lectura del micrómetro (E), cuando entre sus caras de medición se coloca un bloque de caras paralelas de longitud conocida, definida como la diferencia entre la longitud del bloque patrón (l_{bp}) y la lectura del micrómetro (l_m).

Modelo matemático:

Medición directa.

$$e = l_{bp}^{t1} - l_m^{t2} \quad (79)$$

Dónde:

E : Corrección de la lectura del micrómetro.

L_{bp}^{t1} : Longitud del bloque patrón a la temperatura que se encuentra el bloque.

L_m^{t2} : lectura del micrómetro a la temperatura que se encuentra el calibrador.

Incertidumbre en la calibración de micrómetros u (l_m)

Esta incertidumbre se considera el resultado de cinco contribuciones: deflexión del arco, el efecto de paralaje, la falta de paralelismo, la resolución y la repetitibilidad.

Mensurando

Lectura del micrómetro cuando entre sus topes se coloca un bloque de caras paralelas de longitud conocida

Patrones y Equipos:

Bloques de caras paralelas de clase 1.

Factores de influencia

Los factores de influencia considerados son aquellos que aparecen en forma explícita en el modelo matemático.

Método

Se coloca un bloque de caras paralelas de longitud conocida entre las topes del micrómetro y se toma la lectura del micrómetro.

Modelo matemático:

En la calibración de micrómetros se utiliza el siguiente modelo:

$$L = L_{bp} + \Delta L + \Delta L_{res} + \Delta L_T + \Delta L_0 \quad (80)$$

Dónde:

L_m = Lectura en el micrómetro

L_{bp} = Longitud bloque patrón

ΔL = Corrección sistemática (error)

ΔL_{res} = Corrección por resolución

ΔL_T = Corrección por diferencia de temperatura entre el bloque y el micrómetro

ΔL_0 = Corrección por lectura de cero

ΔL_{\parallel} = Corrección debido al efecto de paralelismo de las caras de medición

$\Delta_{plan.caras}$ = Corrección por planitud de las caras de medición

La incertidumbre de calibración del micrómetro se la estimará de la siguiente manera:

$$UL = 2\sqrt{(uL_p)^2 + (u\Delta L)^2 + (u\Delta L_{res})^2 + (u\Delta L_T)^2 + (u\Delta L_0)^2} \quad (81)$$

Dónde:

uL = Incertidumbre de calibración del micrómetro

uL_p = Incertidumbre de la corrección sistemática del micrómetro

n = Número de mediciones

σ = Desviación estándar de repetibilidad

$u\Delta L_{res}$ = Incertidumbre por resolución

$u\Delta L_T$ = Incertidumbre por corrección de diferencia de temperatura entre el bloque y el micrómetro

$u\Delta L_0$ = Incertidumbre por lectura de cero

A continuación se determinará cada uno de los términos.

Debido a la repetibilidad del instrumento.

$$u(\overline{\Delta L}) = \frac{s(\overline{\Delta L})}{\sqrt{n}} \quad (82)$$

Dónde

$$s(\overline{\Delta L}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2} \quad (83)$$

$S(\overline{\Delta L})$: Desviación estándar experimental

L_i : Lectura del micrómetro.

\bar{L} : Lectura Promedio

n : Número de mediciones realizadas

Debido al bloque patrón.

Se considera la siguiente contribución:

Incertidumbre U según certificado de calibración ($K=2$)

$$u(L_{bP}) = \frac{U_{BPCal}}{K} \quad (84)$$

Debido a la planitud de las caras de la medición. Se considerará el mayor valor de planitud de las caras de medición del micrómetro encontrados en el punto 5.3.1 del procedimiento de calibración. Utilizar este valor para evaluar la incertidumbre considerando una distribución rectangular, con semi-amplitud del mayor valor de planitud de las caras de medición del micrómetro.

$$I_{plan.caras} = \Delta plan.caras \quad (85)$$

Dónde:

$\Delta plan.caras$: Máximo valor de planitud de una de las caras de medición.

$$(\delta I_{plan.caras}) = \frac{\Delta plan.caras}{2\sqrt{3}} \quad (86)$$

Debido a la resolución del micrómetro

$$U(resolución) = \frac{Resolución}{\sqrt{12}} \quad (87)$$

Debido al coeficiente de expansión térmica $u(\alpha_{bp})$

El material de los bloques es acero, se supone un $\pm 10\%$ de variación de ese coeficiente, con una distribución de probabilidad rectangular resultando.

$$u(\alpha_{bp}) = \frac{10\% * 11,5 * 10^{-6} * \frac{1}{^{\circ}\text{C}}}{\sqrt{3}} = 6.6395 E - 07 \quad (88)$$

Incertidumbre de las diferencias de temperatura entre los bloques patrón y el micrómetro $u(\delta t)$

Se supone una supervisión y control de las condiciones ambientales de temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, asignando un tipo de distribución de probabilidad rectangular a este intervalo resulta:

$$u(\delta t) = \frac{1^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 0,577350269 \quad (89)$$

Incertidumbre de las diferencias de temperatura entre el ambiente y el micrómetro $u(\Delta t_v)$

Se supone una supervisión y control de las condiciones ambientales de temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, asignando un tipo de distribución de probabilidad rectangular a este intervalo resulta:

$$u(\Delta t_c) = \frac{1^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 0,577350269 \quad (90)$$

Incertidumbre de las diferencias de los coeficientes de expansión térmica del micrómetro y de los bloques patrón. $u(\delta\alpha)$

$$u(\delta\alpha) = \frac{10\% * 11,5 * 10^{-6} * \frac{1}{^{\circ}\text{C}}}{\sqrt{3}} = 6.6395 E - 07 \quad (91)$$

$$u^2(E) = (1 - \alpha_{bp} \delta T)^2 * u^2(l_{bp}) + (-1 - \Delta t_m \delta \alpha)^2 * u^2(l_m) + (-l_{bp} \delta T)^2 * u^2(\alpha_{bp}) + (-l_{bp} \alpha_{bp})^2 * u^2(\delta T) + (l_m \delta \alpha)^2 * u^2(\Delta t_m) + (-l_m \Delta t_m)^2 * u^2 \quad (92)$$

5.2.10 Ejemplo para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores. Determinar la incertidumbre de calibración de un micrómetro de exteriores analógico con resolución de 0,01mm e intervalo de medición de 25 mm mediante bloques patrón como patrón de referencia.

Las condiciones de temperatura se mantiene dentro de los límites de 20°C±3°C.

Condiciones Ambientales

Temperatura : 23.0 °C

Humedad : 56.7 %

Presión : 741.52hPa

Tabla 16. Toma y tratamiento de datos para la calibración de un micrómetro de exteriores

Valor Patrón (mm)	Lectura 1 (mm)	Lectura 2 (mm)	Lectura3 (mm)	Promedio Lecturas	Error (mm)
0,0	0,00	0,00	0,00	0,000	0
2,5	2,501	2,501	2,501	2,501	1
5,1	5,101	5,101	5,101	5,101	1
7,7	7,702	7,702	7,702	7,702	2
10,3	10,302	10,302	10,302	10,302	2
12,9	12,902	12,902	12,902	12,902	2
15,0	15,002	15,002	15,002	15,002	2
17,6	17,602	17,602	17,602	17,602	2
20,2	20,202	20,202	20,202	20,202	2
22,8	22,803	22,803	22,803	22,803	3
25,0	25,003	25,003	25,003	25,003	3

Fuente: Autor

Calculo de la incertidumbre

Contribuciones a la incertidumbre combinada en la calibración de los micrómetros

Tabla 17. Presupuesto de incertidumbre de un micrómetro de exteriores

Fuentes	Coeficientes de sensibilidad			Contribución a la incertidumbre a			$u^2 \cdot [\partial () / \partial (e)]^2$
	U (mm)			U (mm)			
l_{bp}	$\partial (e) / \partial (l_{bp})$	$1 - \alpha_{bp} \delta t$	0,9999885	$u(l_{bp})$	$T/(3)^{1/2}$	0,17320508 1	0.02999 931
l_m	$\partial (e) / \partial (l_c)$	$-1 - \Delta t_m \delta \alpha$	- 1,0000011 5	$u(l_m)$	$U_{\text{deflex.arco}} + U_{\text{parala}} + U_{\text{parali}} + U_{\text{res}} + U_{\text{rep}}$	1.16	1.34333 6423
α_{bp}	$\partial (e) / \partial (\alpha_{bp})$	$-l_{bp} \delta t$	-150	$u(\alpha_{bp})$	$(10\% \cdot 11,5 \cdot 10^{-6} 1^\circ\text{C}) / (3)^{1/2}$	6,6395E-07	9,91875 E-09
δt	$\partial (e) / \partial (\delta t)$	$-l_{bp} \alpha_{bp}$	-0,001725	$u(\delta t)$	$1^\circ\text{C} / (3)^{1/2}$	0,57735027	9,91875 E-07
Δt_m	$\partial (e) / \partial (\Delta t)$	$-l_m \delta \alpha$	- 0,0001725	$u(\Delta t_m)$	$1^\circ\text{C} / (3)^{1/2}$	0,57735027	9,91876 E-09
$\delta \alpha$	$\partial (e) / \partial (\delta \alpha)$	$-l_m \Delta t_m$	-150	$u(\delta \alpha)$	$(10\% \cdot 11,5 \cdot 10^{-6} 1^\circ\text{C}) / (3)^{1/2}$	6,6395E-07	9,91875 E-09

Fuente: Autor

Tabla 18. Incertidumbre de la lectura del micrómetro $u(l_m)$

$u(l_m)$	$U_{\text{deflex.arco}}$	U_{paralaje}	$U_{\text{paralelismo entre caras}}$	$U_{\text{resolución}}$	$U_{\text{repetibilidad}}$
$(\sum U^2)^{1/2}$	$2/(12)^{1/2}$	$2/(12)^{1/2}$	$2/(12)^{1/2}$	$\text{res}/(12)^{1/2}$	$s/(n)^{1/2}$
1.16	0.57735	0.577350	0.57735	0.58	0,00

Fuente: Autor

Tabla 19. Incertidumbre total para calibración de micrómetros de exteriores y medidores de espesores

Incertidumbre combinada (uc)	1.5 μ m
Incertidumbre expandida (U)	2.3 μ m k=2

Fuente: Autor

Evaluación .Los resultados de la calibración del instrumento se evaluarán de acuerdo con la norma NTE INEN 1821.

Certificado / Informe Elaborar el Certificado Informe que cumpla con los requisitos del procedimiento LPC PC 01

Anexos LPC FC 13. Se anexa un ejemplo de Certificado y uno de Informe Técnico de calibración

5.3 Procedimiento para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores

5.3.1 Índice para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores

- Objetivo
- Alcance
- Referencia
- Contenido

5.3.2 Objetivo para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores. Este procedimiento da lineamientos para la calibración de micrómetros de profundidad y de interiores

5.3.3 Alcance para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores. Este utilizado para llevar a cabo procedimiento debe de ser la calibración de micrómetros de profundidad con un alcance de medición de 0,25 mm incluyendo los que tienen contador y los electrodigitales.

5.3.4 Referencias para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores

5.3.4.1 Documentos utilizados para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores

- LPCPA 01, Procedimiento para la elaboración, actualización y aprobación de documentos.
- LPC PC 22, Estimación de la Incertidumbre de las calibraciones que realiza el LPC.
- Seminario Metrología de Longitudes con énfasis en calibración de micrómetros, indicador de carátula y calibradores con vernier.

5.3.4.2 Documentos a ser utilizado conjuntamente para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores

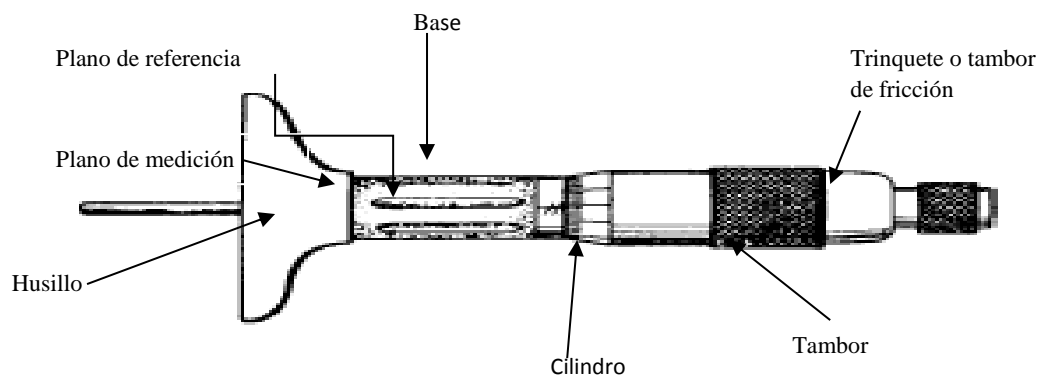
- LPC PC 01, Procedimiento para elaboración de Certificados de Calibración
- NTE INEN 1821:2001, Micrómetros para medición de exteriores. Requisitos
- LPC FC 13, Formato para calibración de micrómetros

5.3.5 Generales para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores

5.3.5.1 Generalidades sobre los micrómetros de profundidad y de interiores.

- Micrómetros de profundidad. Llamados también sondas micrométricas, están constituidos por una cabeza micrométrica que lleva, en sustitución del cuerpo de horquilla, un apoyo en T. Se utilizan para medir cotas de profundidad.

Figura 34. Partes principales de un micrómetro de profundidad

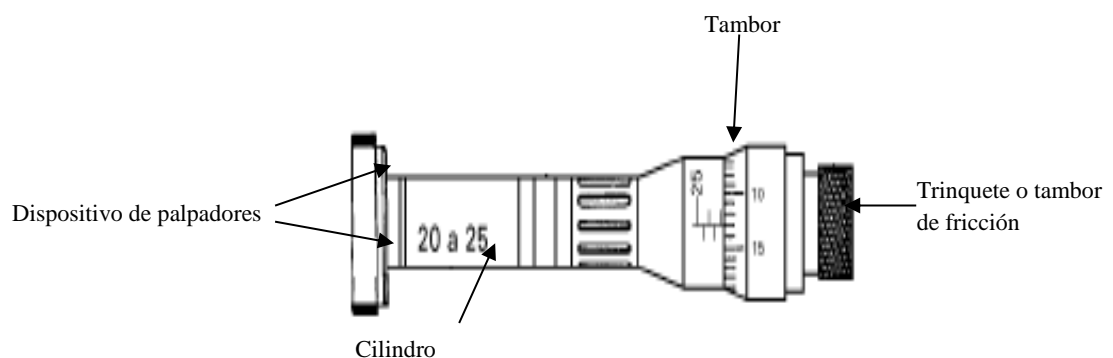


Fuente: Metrología aplicada módulo longitud

- Micrómetros de interiores. El micrómetro para interiores sirve para medir el diámetro del agujero y otras cotas internas superiores a 50 mm. Está formado por una cabeza micrométrica sobre la que pueden ser montados uno o más ejes combinables de prolongamiento.

Para ampliar las medidas se pueden utilizar uno o más ejes de prolongación. Un conjunto completo está constituido por 5 ejes con medidas que son: 13, 25, 50, 100 y 150 mm. Combinando los ejes de diferentes maneras puede medirse cualquier distancia comprendida entre 50 y 400 mm.

Figura 35. Partes principales de un micrómetro de profundidad

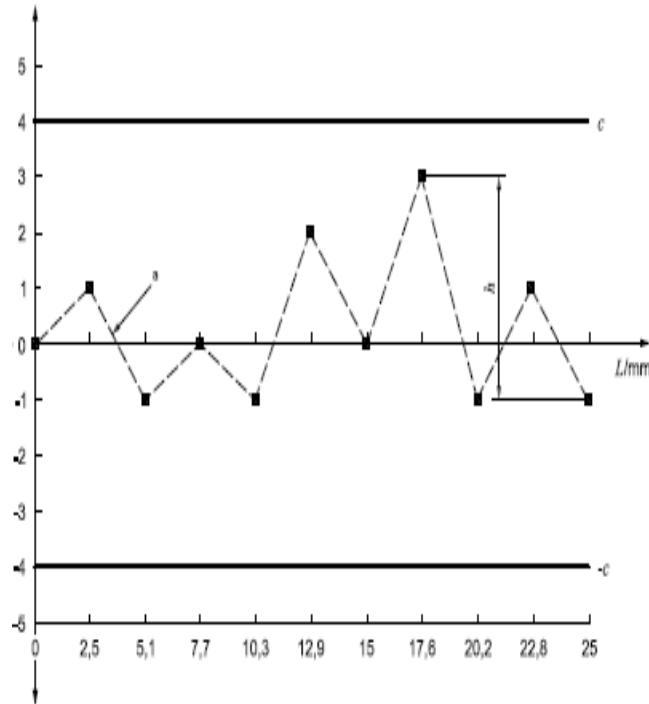


Fuente: Metrología aplicada módulo longitud

- Límites de error (según NTE INEN 1 821)
- Error de la indicación, f_{\max} . El error de la indicación f_{\max} en los micrómetros para mediciones exteriores es la distancia entre las ordenadas del punto más alto y del más bajo en el diagrama de la desviación. f_{\max} se llama también “rango de desviación”.
- Error del elemento de medición, f_{me} . Error del elemento de medición, f_{me} solo es la distancia entre las ordenadas del punto más alto y del más bajo en el diagrama de la

desviación, en la que las influencias del yunque de medición y el arco están eliminadas.

Figura 36. Diagrama del rango de la desviación f_{\max} , respectivamente f_{\min}



Fuente: NTE INEN 1 821

- Requisitos para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores. No se deben exceder los valores dados en la tabla 20.

Tabla 20. Valores límites para micrómetros de interiores (NTE 1 821).

Rango de medición	Rango de desviación de la indicación $f_{\text{máx}}$	Tolerancia de paralelismo de las superficies de medición para una fuerza de 10 Newton		Deflexión permitida del arco para una fuerza de 10 Newton
mm	μm	No de anillos o líneas de interferencia	μm	μm
0 hasta 25	4	6	2	2
25 hasta 50	4	6	2	2
50 hasta 75	5	10	3	3
75 hasta 100	5	10	3	3
100 hasta 125	6	-	3	4
125 hasta 150	6	-	3	5
150 hasta 175	7	-	4	6
175 hasta 200	7	-	4	6
200 hasta 225	8	-	4	7
225 hasta 250	8	-	4	8
250 hasta 275	9	-	5	8
275 hasta 300	9	-	5	9
300 hasta 325	10	-	5	10
325 hasta 350	10	-	5	10
350 hasta 375	11	-	6	11
375 hasta 400	11	-	6	12

Fuente: NTE INEN 1 821

Nota: El error permitido de la indicación ($f_{\text{máx}}$) comprende las desviaciones del elemento de medición, de planitud y de paralelismo de las superficies de medición y las desviaciones que provengan de la flexibilidad del arco.

5.3.6 Operaciones previas para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores

5.3.6.1 Trazabilidad patrones para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores. Verificar que los patrones a ser utilizados han sido calibrados y que un certificado válido esté disponible. Para la calibración micrómetros los efectos de variaciones de temperatura se pueden despreciar en muchos casos observando algunas reglas durante la calibración. Sin embargo, es un buen ejercicio tener un estimativo del orden de magnitud de este efecto. Principalmente puede haber tres efectos de temperatura durante la calibración:

- Diferencia de temperatura entre el instrumento a calibrar y el patrón
- Diferencia en temperatura entre la temperatura de ambiente y temperatura de referencia
- Diferencia por la incertidumbre de los coeficientes de dilatación térmica α

Asumimos que un micrómetro de 25 mm al calibrarlo en el punto máximo, 25 mm, tiene una diferencia de temperatura respecto al patrón de 1 K, la diferencia en longitud sería (coeficiente de dilatación térmica $\alpha = (11,5 \pm 1,0) \times 10^{-6} \times \text{K}^{-1}$ para micrómetro y patrón): $25 \text{ mm} \times 11,5 \times 10^{-6} \times \text{K}^{-1} \times 1 \text{ K} \approx 0,3 \mu\text{m}$

Esto significa una diferencia de solamente 7,5% respecto a los límites de error f_{max} de 4 μm para el micrómetro la cual es despreciable. Por el otro lado si la temperatura de ambiente en el cual se calibra el instrumento es más alta o más baja que la temperatura de referencia de 20°C, tanto el Bloque patrón como el micrómetro se dilatan o contraen en la misma dirección y en la misma medida, supuesto que los coeficientes de dilatación α con iguales.

Quedaría solamente una componente de error debido a la incertidumbre del coeficiente α tanto en el micrómetro como en el patrón. Si asumimos una diferencia entre la temperatura de referencia de 20°C y la temperatura de ambiente de $\pm 5^\circ\text{C}$, y esta componente sería: $25 \text{ mm} \times 2 \times 1,0 \times 10^{-6} \times \text{K}^{-1} \times 5 \text{ K} / \sqrt{3} = 0,14 \mu\text{m}$.

Esta componente también se puede despreciar, por ser tan pequeña.

De lo anterior se pueden derivar las siguientes conclusiones:

- La temperatura del ambiente en la cual se calibra el micrómetro no es muy crítico.
- Es necesario almacenar el micrómetro y el patrón en la misma temperatura por un tiempo prudente (por lo menos una hora) para que puedan asumir la misma temperatura.
- Al manejar tanto el micrómetro como el patrón hay que tener cuidado no transmitir el calor de la mano a estos elementos.

Nota 1: Para proceder a la calibración de un micrómetro, este debe encontrarse perfectamente identificado en lo que se refiere a MARCA, MODELO y NÚMERO DE SERIE. En el caso que no exista ninguno de estos datos, se procederá a la identificación del instrumento.

Nota 2: La calibración se realizara en un recinto acondicionado a una temperatura que se mantenga entre los límites $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Nota 3: Se procederá a preparar el conjunto de patrones que van a ser utilizados limpiándolos cuidadosamente.

Nota 4: Una vez limpios, los patrones a emplear y el micrómetro se situara en la mesa de trabajo dejándolos estabilizar al menos 1hora.

Nota 5: Se hará una prueba de funcionalidad de las principales partes del micrómetro como son movilidad del husillo, dispositivo de fijación, funcionamiento del trinquete, perfecto deslizamiento de las partes móviles, etc. De presentar algún problema anotar en la parte de observaciones del formato de calibración No LPC FC 13-01.

5.3.7 *Descripción para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores*

5.3.7.1 *Aparatos y equipos para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores.* Bloques calibres con grado de exactitud 1, de acero especial, según la norma NTE INEN 1821.

Para el control de la planitud de micrómetros nuevos se puede utilizar como patrón un vidrio plano paralelo, de 30 mm de diámetro aprox., con una tolerancia de planitud de 0,1 μm .

Para el control del paralelismo de las superficies de medición de micrómetros nuevos se utiliza un juego de 4 planos paralelos ópticos de diferentes espesores entre sí (con diferencias de $\frac{1}{4}$ de paso), con las siguientes especificaciones:

Espesores: 12,000, 12,120, 12,250, 12,370 mm, Diámetro: 30 mm aprox.

Planitud: $< 0,15 \mu\text{m}$, Paralelidad: $\leq 0,6 \mu\text{m}$, Tolerancia del espesor: $\pm 0,01 \text{ mm}$.

Mesa de planitud o una superficie plana similar.

Accesorios para realizar mediciones internas con bloques de caras paralelas.

5.3.7.2 *Proceso de calibración para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores.* Previo a la calibración ha de comprobarse la planitud de cada una de las dos caras de medida del micrómetro y cuando proceda, el paralelismo entre ambas.

5.3.7.3 *Medición de la planitud de las caras de medición.* Para la verificación de la planitud de micrómetros nuevos se aplicara el método de interferencia óptica, usando un plano óptico de cristal con desviación de 0,1 μm . Colocar el micrómetro sobre un soporte en posición vertical. Colocar el plano óptico de cristal sobre la superficie de cada una de las caras de medición, desplazándola lateralmente con ligera precisión. Sin hacer fuerza sobre este, moverlo hasta observar el menor número de bandas o franjas de interferencia.

El número de franjas o bandas de interferencia indican la planitud de las caras de medición del micrómetro.

Contar el número de franjas o bandas de interferencia (bandas de un mismo color) que se puedan observar sobre cada una de las superficies de medición del micrómetro y anotar el registro de medición

Determinar la desviación de la planitud multiplicando el número de franjas o bandas de interferencia por $0,3 \mu\text{m}$. Una adecuada medición permite observar tres o cuatro bandas de interferencia.

Los resultados de planitud para las caras de medición estarán dadas por: (Nº de bandas de interferencia) x ($0,3\mu\text{m}$)

5.3.7.4 *Medición del paralelismo de las caras de medición.* Para comprobar el paralelismo de las caras de medición de micrómetros de exteriores utilizar un juego de cuatro paralelas ópticas de diferentes espesor: 12,000, 12,120, 12,250, 12,370 mm, Diámetro: 30 mm aprox. Planitud: $< 0,15 \mu\text{m}$, Paralelidad: $\leq 0,6 \mu\text{m}$, Tolerancia del espesor: $\pm 0,01 \text{ mm}$. Colocar el micrómetro sobre el soporte en posición vertical. Colocar cada una de las paralelas ópticas entre las superficies de medición del micrómetro bajo una lámpara de luz monocromática o luz blanca, empezando con el plano óptico de menor espesor. Acercar las caras de medición del micrómetro girando el dispositivo regulador de la fuerza de medición (trinquete).

Una vez que ambas caras de medición hagan contacto con el plano óptico, girar el dispositivo regulador de la fuerza de medición hasta que avance tres o cuatro pasos del engranaje. Contar con el número de bandas o franjas de interferencia visibles que aparecen en las superficies de cara de medición. Sumar el número de franjas de ambas caras anotar este valor en el registro de medición. Multiplique el valor registrado por $0,3 \mu\text{m}$, el valor obtenido representa el paralelismo de las caras de medición al utilizar dicho plano óptico.

5.3.8 Cálculos para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores. Para la estimación y cálculo de la incertidumbre se seguirá lo establecido en el procedimiento (LPC PC 22) “ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE LAS CALIBRACIONES QUE REALIZA EL LPC”

En la tabla de calibración del formato LPC FC 13-01 se reportará los errores del instrumento los cuales se calcularán de la siguiente manera:

$$E = l_m - l_{bp} \quad (93)$$

E : Error del valor de indicación del micrómetro.

l_m : Valor de indicación del micrómetro.

l_{bp} : Longitud del bloque patrón

F_{max} = Valor máximo (Lectura del instrumento) – Valor mínimo (Lectura del instrumento)

Corrigiendo por efecto de la temperatura:

$$E = l_{bp}(1 + \alpha_{bp}\Delta t_{bp}) - l_m(1 + \alpha_m\Delta t_m) \quad (94)$$

$$E = l_{bp} + l_{bp}\alpha_{bp}\Delta t_{bp} - l_m - l_m\alpha_m\Delta t_m \quad (95)$$

$$E = l_{bp} - l_m + l_{bp}\alpha_{bp}\Delta t_{bp} - l_m\alpha_m\Delta t_m \quad (96)$$

Para simplificar el manejo de las ecuaciones se definen dos diferencias auxiliares

$$\delta\alpha = \alpha_m - \alpha_{bp} \quad (97)$$

$$\alpha_c = \delta\alpha - \alpha_{bp} \quad (98)$$

$$\delta T = \Delta T_m - \Delta T_{bp} \quad (99)$$

$$E = l_{bp}(1 + \alpha_{bp} \Delta T_{bp}) - l_m[1 + (\delta\alpha - \alpha_{bp})\Delta T_m] \quad (100)$$

$$E = l_{bp}(1 + \alpha_{bp} \Delta T_{bp}) - l_m[1 + \delta\alpha\Delta T_m - \alpha_{bp}\Delta T_m] \quad (101)$$

$$E = l_{bp} + l_{bp} \alpha_{bp} \Delta T_{bp} - l_m - l_m\delta\alpha\Delta T_m + l_m\alpha_{bp}\Delta T_m \quad (102)$$

Si suponemos que $l_{bp} = l_m$

$$E = l_{bp} - l_m + l_{bp} \alpha_{bp} \Delta T_{bp} - l_m\delta\alpha\Delta T_m + l_m\alpha_{bp}\Delta T_m \quad (103)$$

$$E = l_{bp} - l_m + l_{bp} \alpha_{bp} (\Delta T_{bp} - \Delta T_m) - l_m\delta\alpha\Delta T_m \quad (104)$$

Modelo Matemático

$$\boxed{E = l_{bp} - l_m + l_{bp} \alpha_{bp} \delta T - l_m\delta\alpha\Delta T_m} \quad (105)$$

Ahora, de esta ecuación se encuentran los coeficientes de sensibilidad de cada componente.

$$\frac{\partial E}{\partial(l_{bp})} = 1 - \alpha_{bp} \delta T \quad (106)$$

$$\frac{\partial E}{\partial(l_m)} = -1 - \Delta t_m \delta \alpha \quad (107)$$

$$\frac{\partial E}{\partial(\alpha_{bp})} = -l_{bp} \delta T \quad (108)$$

$$\frac{\partial E}{\partial(\delta t)} = -l_{bp} \alpha_{bp} \quad (109)$$

$$\frac{\partial E}{\partial(\Delta t)} = l_m \delta \alpha \quad (110)$$

$$\frac{\partial E}{\partial(\delta \alpha)} = -l_m \Delta t_m \quad (111)$$

Con lo cual el cuadrado de la incertidumbre queda finalmente

$$u^2(E) = (1 - \alpha_{bp} \delta T)^2 * u^2(l_{bp}) + (-1 - \Delta t_m \delta \alpha)^2 * u^2(l_m) + (-l_{bp} \delta T)^2 * u^2(\alpha_{bp}) + (-l_{bp} \alpha_{bp})^2 * u^2(\delta T) + (l_m \delta \alpha)^2 * u^2(\Delta t_m) + (-l_m \Delta t_m)^2 * u^2(\delta \alpha) \quad (112)$$

5.3.9 *Cuantificación de la de la incertidumbre para calibración de micrómetros de profundidad y de interiores.* Incertidumbre en la calibración de micrómetros

Mensurando: La corrección de la lectura del micrómetro (E), cuando entre sus caras de medición se coloca un bloque de caras paralelas de longitud conocida, definida como la diferencia entre la longitud del bloque patrón (l_{bp}) y la lectura del micrómetro (l_m).

Modelo matemático:

Medición directa.

$$e = l_{bp}^{t1} - l_m^{t2} \quad (113)$$

Dónde:

E : Corrección de la lectura del micrómetro.

L_{bp}^{t1} : Longitud del bloque patrón a la temperatura que se encuentra el bloque.

L_m^{t2} : lectura del micrómetro a la temperatura que se encuentra el calibrador.

Incertidumbre en la calibración de micrómetros u (l_m)

Esta incertidumbre se considera el resultado de cinco contribuciones: deflexión del arco, el efecto de paralaje, la falta de paralelismo, la resolución y la repetitibilidad.

Mensurando: Lectura del micrómetro cuando entre sus topes se coloca un bloque de caras paralelas de longitud conocida.

Exactitud: Se debe utilizar patrones que proporcionen una incertidumbre menor o igual a un tercio del error máximo permitido para estos instrumentos.

Patrones y Equipos : Bloques de caras paralelas de clase 1.

Factores de influencia: Los factores de influencia considerados son aquellos que aparecen en forma explícita en el modelo matemático.

Método: Se coloca un bloque de caras paralelas de longitud conocida entre las topes del micrómetro y se toma la lectura del micrómetro.

Modelo matemático:

En la calibración de micrómetros se utiliza el siguiente modelo:

$$L = L_{bp} + \Delta L + \Delta L_{res} + \Delta L_T + \Delta L_0 \quad (114)$$

Dónde:

L_m = Lectura en el micrómetro

L_{bp} = Longitud bloque patrón

ΔL = Corrección sistemática (error)

ΔL_{res} = Corrección por resolución

ΔL_T = Corrección por diferencia de temperatura entre el bloque y el micrómetro

ΔL_0 = Corrección por lectura de cero

ΔL_{\parallel} = Corrección debido al defecto de paralelismo de las caras de medición

$\Delta_{plan.caras}$ = Corrección por planitud de las caras de medición

La incertidumbre de calibración del micrómetro se la estimará de la siguiente manera:

$$UL = 2 * \sqrt{(uL_p)^2 + (u\Delta L)^2 + (u\Delta L_{res})^2 + (u\Delta L_T)^2 + (u\Delta L_0)^2} \quad (115)$$

Dónde:

uL = Incertidumbre de calibración del micrómetro

uL_p = Incertidumbre de la corrección sistemática del micrómetro

n = Número de mediciones

σ = Desviación estándar de repetibilidad

$u\Delta L_{res}$ = Incertidumbre por resolución

$u\Delta L_T$ = Incertidumbre por corrección de diferencia de temperatura entre el bloque y el micrómetro

$u\Delta L_0$ = Incertidumbre por lectura de cero

A continuación se determinara cada uno de los términos.

Debido a la repetibilidad del instrumento.

$$u(\overline{\Delta L}) = \frac{S(\overline{\Delta L})}{\sqrt{n}} \quad (116)$$

Dónde

$$S(\overline{\Delta L}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2} \quad (117)$$

$S(\overline{\Delta L})$: Desviación estándar experimental

L_i : Lectura del micrómetro.

\bar{L} : Lectura Promedio

n : Número de mediciones realizadas

Debido al bloque patrón.

Se considera la siguiente contribución:

Incertidumbre U según certificado de calibración (K=2)

$$u(L_{bp}) = \frac{U_{BPcal}}{K} \quad (118)$$

Debido a la planitud de las caras de la medición

Se considerará el mayor valor de planitud de las caras de medición del micrómetro encontrados en el punto 5.3.1 del procedimiento de calibración. Utilizar este valor para evaluar la incertidumbre considerando una distribución rectangular, con semi-amplitud del mayor valor de planitud de las caras de medición del micrómetro.

$$I_{plan.caras} = \Delta plan.caras \quad (119)$$

Dónde:

$\Delta plan.caras$: Máximo valor de planitud de una de las caras de medición.

$$(\delta I_{plan.caras}) = \frac{\Delta plan.caras}{2\sqrt{3}} \quad (120)$$

Debido a la resolución del micrómetro

$$U(resolución) = \frac{Resolución}{\sqrt{12}} \quad (121)$$

Debido al coeficiente de expansión térmica $u(\alpha_{bp})$

El material de los bloques es acero, se supone un $\pm 10\%$ de variación de ese coeficiente, con una distribución de probabilidad rectangular resultando

$$u(\alpha_{bp}) = \frac{10\% * 11,5 * 10^{-6} * \frac{1}{^{\circ}\text{C}}}{\sqrt{3}} = 6.6395 \quad (122)$$

Incertidumbre de las diferencias de temperatura entre los bloques patrón y el micrómetro $u(\delta t)$

Se supone una supervisión y control de las condiciones ambientales de temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, asignando un tipo de distribución de probabilidad rectangular a este intervalo resulta:

$$u(\delta t) = \frac{1^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 0,577350269 \quad (123)$$

Incertidumbre de las diferencias de temperatura entre el ambiente y el micrómetro $u(\Delta t_v)$

Se supone una supervisión y control de las condiciones ambientales de temperatura de $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$, asignando un tipo de distribución de probabilidad rectangular a este intervalo resulta:

$$u(\Delta t_c) = \frac{1^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0,577350269 \quad (124)$$

Incertidumbre de las diferencias de los coeficientes de expansión térmica del micrómetro y de los bloques patrón. $u(\delta\alpha)$

$$u(\delta\alpha) = \frac{10\% * 11,5 * 10^{-6} * \frac{1}{^\circ\text{C}}}{\sqrt{3}} = 6.6395 \quad (125)$$

Finalmente la incertidumbre combinada del error de indicación de un micrómetro para un alcance específico estará determinada por la ecuación:

$$u^2(E) = (1 - \alpha_{bp} \delta T)^2 * u^2(l_{bp}) + (-1 - \Delta t_m \delta\alpha)^2 * u^2(l_m) + (-l_{bp} \delta T)^2 * u^2(\alpha_{bp}) + (-l_{bp} \alpha_{bp})^2 * u^2(\delta T) + (l_m \delta\alpha)^2 * u^2(\Delta t_m) + (-l_m \Delta t_m)^2 * u^2 \quad (126)$$

5.3.10 *Ejemplo de un micrómetro de interiores.* Determinar la incertidumbre de calibración de un micrómetro de interiores analógico con resolución de 0,01mm e intervalo de medición de 25 mm mediante bloques patrón como patrón de referencia.

Las condiciones de temperatura se mantiene dentro de los límites de $20^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$

Condiciones Ambientales

Temperatura : 23.0 °C

Humedad : 56.7 %

Presión : 741.52hPa.

Tabla 21. Toma y tratamiento de datos para la calibración de un micrómetro de interiores

Valor Patrón (mm)	Lectura 1 (mm)	Lectura 2 (mm)	Lectura3 (mm)	Promedio Lecturas	Error (mm)
0,0	0,00	0,00	0,00	0,000	0
2,5	2,501	2,501	2,501	2,501	1
5,1	5,101	5,101	5,101	5,101	1
7,7	7,702	7,702	7,702	7,702	2
10,3	10,302	10,302	10,302	10,302	2
12,9	12,902	12,902	12,902	12,902	2
15,0	15,002	15,002	15,002	15,002	2
17,6	17,602	17,602	17,602	17,602	2
20,2	20,202	20,202	20,202	20,202	2
22,8	22,803	22,803	22,803	22,803	3
25,0	25,003	25,003	25,003	25,003	3

Fuente: Autor

Tabla 22. Contribuciones a la incertidumbre combinada en la calibración de un micrómetro de interiores

Fuentes	Coeficientes de sensibilidad			Contribución a la incertidumbre a			$u^2 \cdot [\partial () / \partial (e)]^2$
	$\partial (e) / \partial (l_{bp})$	$1 - \alpha_{bp} \delta t$	0,9999885	$U (mm)$	$T/(3)^{1/2}$	0,1732050 81	
l_{bp}	$\partial (e) / \partial (l_c)$	-1- $\Delta t_m \delta \alpha$	-1,00000115	$u(l_{bp})$	$U_{deflex.arco} + U_{parala} + U_{parali} + U_{res} + U_{rep}$	1.16	1.343336423
α_{bp}	$\partial (e) / \partial (\alpha_{bp})$	$-l_{bp} \delta t$	-150	$u(\alpha_{bp})$	$(10\% \cdot 11,5 \cdot 10^{-6} / 1^\circ C) / (3)^{1/2}$	6,6395E-07	9,91875E-09
Δt	$\partial (e) / \partial (\delta t)$	$-l_{bp} \alpha_{bp}$	-0,001725	$u(\delta t)$	$1^\circ C / (3)^{1/2}$	0,5773502 7	9,91875E-07
Δt_m	$\partial (e) / \partial (\Delta t)$	$-l_m \delta \alpha$	-0,0001725	$u(\Delta t_m)$	$1^\circ C / (3)^{1/2}$	0,5773502 7	9,91876E-09
$\Delta \alpha$	$\partial (e) / \partial (\delta \alpha)$	$-l_m \Delta t_m$	-150	$u(\delta \alpha)$	$(10\% \cdot 11,5 \cdot 10^{-6} / 1^\circ C) / (3)^{1/2}$	6,6395E-07	9,91875E-09

Fuente: Autor

Incertidumbre de la lectura del micrómetro $u(l_m)$

Tabla 23. Incertidumbre de la lectura del micrómetro de interiores

$u(l_m)$	U_{paralaje}	$U_{\text{paralelismo entre caras}}$	$U_{\text{resolución}}$	$U_{\text{repetibilidad}}$
$(\sum U^2)^{1/2}$	$2/(12)^{1/2}$	$2/(12)^{1/2}$	$\text{res}/(12)^{1/2}$	$s/(n)^{1/2}$
1.73	0.577350	0.57735	0.58	0,00

Fuente: Autor

Tabla 24. Incertidumbre total de un micrómetro de interiores

Incertidumbre combinada (uc)	1.73 μm
Incertidumbre expandida (U)	3,47 μm k=2

Fuente: Autor

Evaluación Los resultados de la calibración del instrumento se evaluarán de acuerdo con la norma NTE INEN 1821.

Certificado / Informe. Elaborar el Certificado .Informe que cumpla con los requisitos del procedimiento LPC PC 01

Anexos LPC FC 1. Se anexa un ejemplo de Certificado y uno de Informe Técnico de calibración

5.4 Procedimiento para calibración de comparadores de reloj

5.4.1 Índice para calibración de comparadores de reloj

- Objetivo
- Alcance
- Referencia
- Contenido

5.4.2 *Objetivo para calibración de comparadores de reloj.* Este procedimiento da lineamientos para la calibración de indicadores de carátula con indicación digital o carátula análoga.

5.4.3 *Alcance para calibración de comparadores de reloj.* Este procedimiento debe ser utilizado para llevar a cabo la calibración de indicadores de caratula con división mínima de 0,01 mm de 0,002mm y de 0,001 mm alcance de medición de 30 mm.

5.4.4 *Referencias para calibración de comparadores de reloj*

5.4.4.1 *Documentos utilizados en la elaboración para calibración de comparadores de reloj*

- LPCPA 01, Procedimiento para la elaboración, actualización y aprobación de documentos.
- LPC PC 22, Estimación de la Incertidumbre de las calibraciones que realiza el LPC.
- Seminarios Metrología de Longitudes con énfasis en calibración de micrómetros, indicadores de carátula y calibradores con vernier.
- JIS B 7503 : 1997, Indicadores de carátula

5.4.4.2 *Documentos a ser utilizado conjuntamente para calibración de comparadores de reloj*

- LPC PC 01, Procedimiento para elaboración de Certificados de Calibración
- NTEINEN 1822, Calibradores con vernier. Requisitos y ensayos
- LPC FC 14, Formato para la calibración de indicadores de dial

5.4.5 *Generales para calibración de comparadores de reloj*

5.4.5.1 *Generalidades sobre el indicador de dial.* Los indicadores de carátula son instrumentos de uso muy extendido en la industria para mediciones muy diversas, siendo una aplicación, su utilización en dispositivos de medición que permiten una medición muy rápida de piezas producidas en serie.

Existe una gran variedad de modelos para adecuarse a diferentes aplicaciones, una variedad es, en el intervalo de medición, otra es el valor de la mínima graduación, existiendo los indicadores de carátula y los indicadores de carátula tipo palanca. Por su aplicación universal y su grado de distribución alto los indicadores de dial o también llamado “relojes” pertenecen al grupo de instrumentos básicos para la metrología dimensional industrial.

Indicadores de dial son instrumentos de indicación y sustituyen desde su principio a galgas en muchos casos.

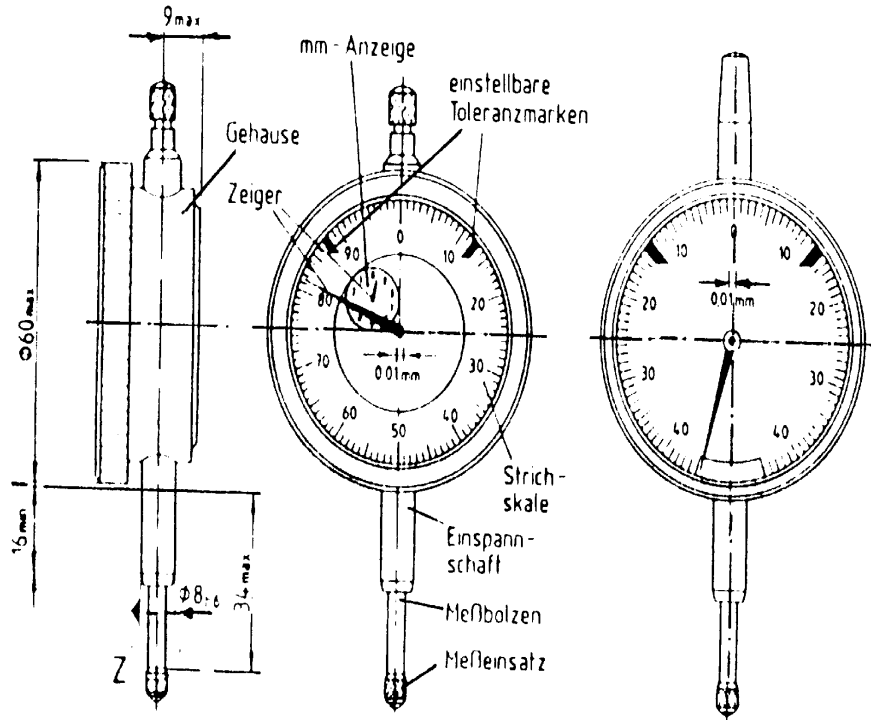
Los diferentes tipos de indicadores de dial mecánicos, con división de escala mínima de 0,001 mm están normalizados. Los rangos de medición normalizados en la norma NTE INEN 1820, parte 1 son: 0,4; 0,8; 3,0; 5,0 y 10 mm. Además se utilizan instrumentos con rangos de medición entre otros de 30, 40, 50 y 100 mm.

Estos indicadores de dial no están incluidos en la norma porque debido a sus errores elevados, se diferencian substancialmente en sus características en relación con los instrumentos normalizados en la NTE INEN 1820, parte 1.

En el mercado también se ofrecen indicadores de dial con divisiones mínimas de escala de 0,001 mm, pero por lo general tienen incorporados el engranaje común y corriente. Por lo tanto su error de histéresis f_h está en el mismo orden de 2 – 3 μm , como en indicadores de dial con división de escala de 0,01 mm.

Esto sin embargo ya significa 2 – 3 divisiones de escala en los comparadores con división de 0,001 μm . En algunos tipos de mediciones, p.ej. midiendo la redondez de un eje, se simula así una exactitud que realmente no existe. Esto es la razón por la cual hasta ahora comparadores con divisiones de escala de 0,002 y 0,001 mm no se han incorporado en la norma DIN 878.

Figura 37. Indicadores de dial, formas A, B y F, según DIN 878.

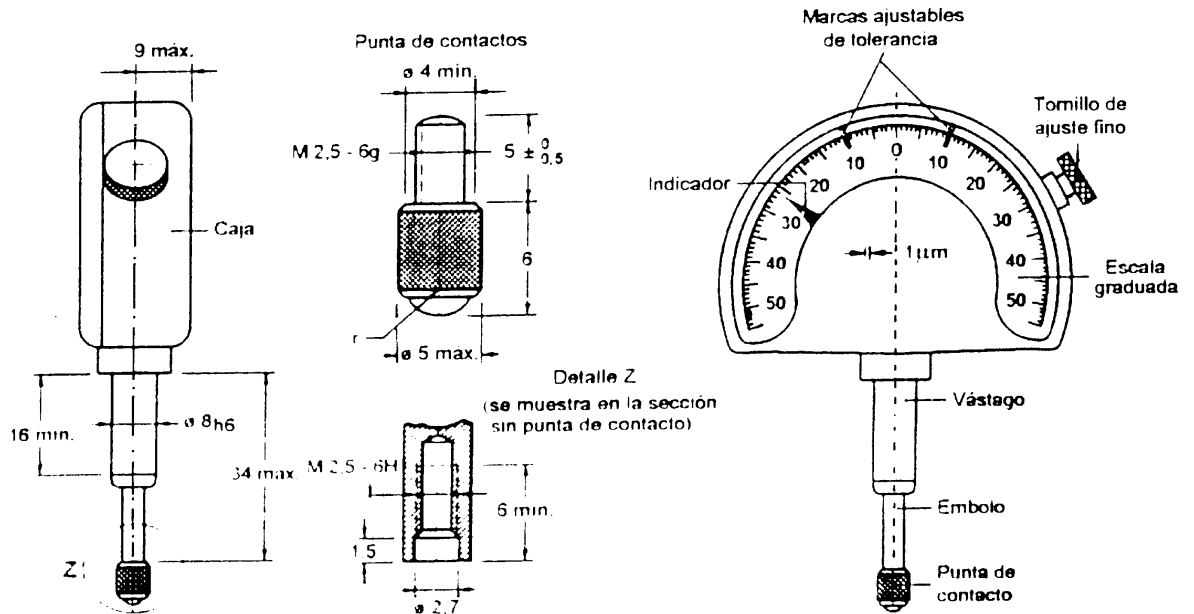


Fuente: NTE INEN 1820

Otro grupo de indicadores de dial constituyen los denominados “indicadores de dial de precisión”, los cuales se normalizaron en la norma alemana DIN 879. Para estos instrumentos están normalizados los rangos: 0,05; 0,1; 0,2; 0,26; 0,5; 1,0 y 3,0 mm con divisiones de escala mínimas de: 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0 y 50,0 μm .

Debido a su mecanismo interno, diferente (segmentos dentados y palancas finas) con estos instrumentos si se pueden lograr exactitudes más elevadas que con los indicadores de dial común y corrientes.

Figura 38. Comparador de carátula de precisión, según DIN 879



Fuente: DIN 879

Hace ya algunos años aparecieron en el mercado comparadores electrónicos, algunos con indicación digital solamente con una resolución de $0,001 \mu\text{m}$. Otros tipos con indicación digital e adicionalmente con una indicación análoga, realizada en una pantalla opto electrónica. Su gran ventaja consiste en que se pueden mandar las lecturas directamente a una computadora donde pueden ser evaluados y procesados.

Sin embargo los comparadores digitales con indicación de cifras solamente tienen una aplicación limitada, ya que para muchas mediciones es necesario y más fácil observar el movimiento de una aguja (p.ej. cuando se busca el punto máximo en un eje). Su aplicación se limita por lo tanto a mediciones estáticas donde hay suficiente tiempo para que la indicación se estabilice. Para las mediciones dinámicas son más adecuados los modelos que tienen indicación digital y adicionalmente indicación análoga.

Para los comparadores electrónicos no existen todavía normas alemanas.

Para todos los tipos de comparadores no normalizados todavía, rigen por lo tanto las especificaciones de los fabricantes, especialmente en lo que se refiere a límites de error (exactitud).

5.4.5.2 Errores de medición para calibración de comparadores de reloj. Al utilizar los indicadores de dial para mediciones pueden resultar una serie de errores de medición debido a su manejo inadecuado y a la poca experiencia del operador.

- Error de indicación. Valor obtenido restando el valor convencionalmente verdadero, de la lectura del indicador, cuando el husillo es presionado hacia dentro y cuando sale. También se le conoce como error instrumental.
- Máximo error de indicación permisible. Valor límite dentro del cual el error de indicación está permitido
- Error adyacente (de indicación 1/10 revolución). El valor máximo de la diferencia entre los errores de indicación en dos posiciones separadas 1/10 de vueltas ya sea cuando el husillo es presionado hacia dentro ó cuando sale.
- Error histéresis (de retroceso). El valor máximo de las diferencias de indicación para el mismo valor cuando el husillo es presionado hacia dentro y cuando sale también se conoce como histéresis
- Histéresis. En todas las mediciones donde ocurre un cambio de la dirección del embolo o palpador, p.ej. cuando se mide la redondez de un eje o la planitud de una parte rotativa, los resultados de medición son afectados por la histéresis. Estas desviaciones o errores sistemáticos se pueden corregir mediante cálculo cuando es conocido.

Sin embargo en mediciones con fuerte influencia de la histéresis y para mantener este error pequeño es mejor utilizar comparadores electrónicos o indicadores de dial de precisión, porque la histéresis de estos instrumentos es menor que el de los comparadores común y corrientes. No cumplir con el principio “Ajustar como medir”. La misma histéresis (f_v) también puede llevar a errores en los resultados en mediciones sencillos, si no se cumple el principio “ajustar como medir”.

5.4.5.3 *Variación de la fuerza de medición.* La fuerza que ejerce el embolo o palpador sobre el objeto medido no es constante. Los valores máximos y mínimos y su variación permitida están fijados (0,3 – 1,5 N). Esta variación de la fuerza de medición causa errores en los resultados. Sobre todo en comparadores con rangos de medición > 30 mm pueden ocurrir estos efectos cuando los soportes donde se fijan los comparadores no son suficientemente estables.

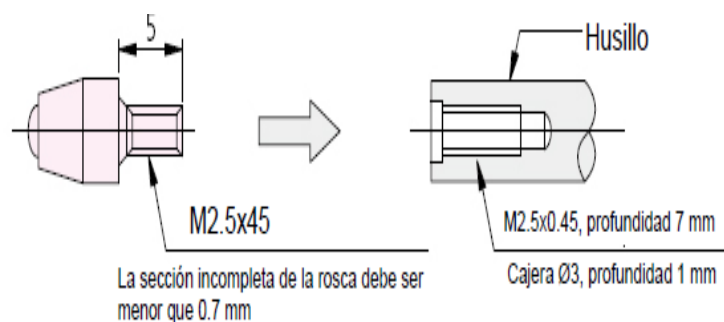
5.4.5.4 *Paralelismo de las puntas de medición con el objeto medido.* Cuando las puntas del embolo son gastadas o mal ajustadas a veces no existe paralelismo entre una punta plana y la pieza causando errores adicionales.

Una superficie plana se debe medir con una punta redonda o viceversa, una superficie esférica se debe medir con una punta plana.

5.4.5.5 *Punta de contacto del indicador de carátula.* La sección roscada está normalizada siendo M2.5x0.45 (Longitud: 5 mm)

La sección incompleta en la raíz de la rosca debe ser menor que 0.7 mm cuando se fabrica una punta de contacto

Figura 39. Punta de contacto del indicador de carátula



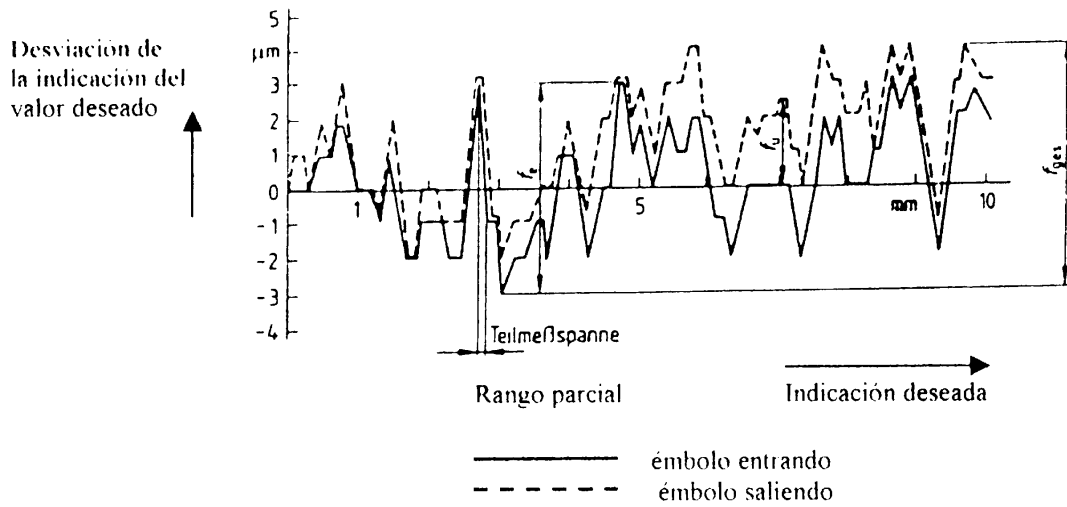
Fuente: DIN 879

5.4.5.6 Límites de error (según NTE INEN 1 820, parte 1)

- Error de la indicación, f_e . El error de la indicación f_e es la distancia entre las ordenadas del punto más alto y del más bajo en el diagrama de la desviación cuando se presiona el émbolo hacia dentro f_e se llama también “rango de desviación”.
- Error de la indicación, f_t , en una parte parcial del rango. El error de la indicación f_t es la distancia entre las ordenadas del punto más alto y del más bajo en el diagrama de la desviación, medido en un rango parcial, con émbolo entrante.
- Error total de la indicación f_{ges} . El error total de la indicación f_{ges} es la distancia entre las ordenadas del punto más alto y del punto más bajo en el diagrama de la desviación con émbolo entrante y saliente. La desviación total f_{ges} incluye la histéresis f_u
- Error de histéresis f_u . El error de histéresis f_u es la diferencia de los valores con émbolo entrante y émbolo saliente, en el mismo punto de medición.
- Repetibilidad f_w . La repetibilidad en el contexto de esta norma es una característica para las variaciones del valor medido n veces en el mismo punto, dentro del rango de medición y con la misma dirección de movimiento del émbolo.

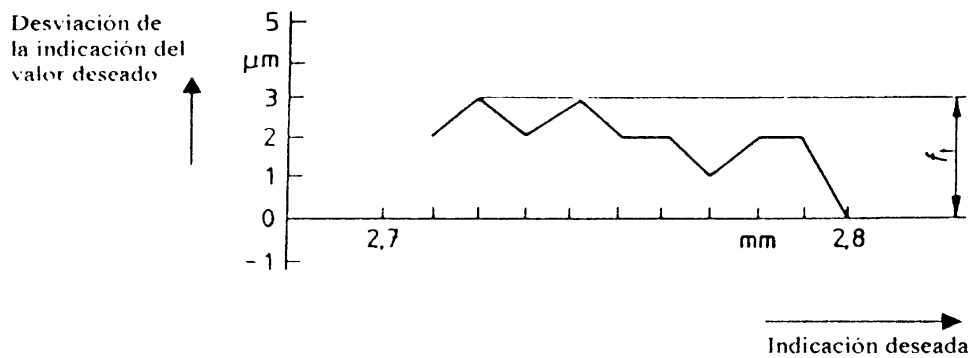
Ya como representan prácticamente límites de error, f_e , f_t , f_{ges} y f_u hay que tratarlos con su valor total como componentes sistemáticos de la incertidumbre de medición.

Figura 40. Diagrama del rango de la desviación f_e , respectivamente f_{ges} .



Fuente: NTE INEN 1 820

Figura 41. Diagrama del rango de la desviación f_t , en un rango parcial.



Fuente: NTE INEN 1 820

5.4.5.7 Requisitos para la calibración de comparadores de reloj. Los indicadores de dial, según la norma NTE INEN 1820, parte 1, no deben exceder los valores de la Tabla 1 dentro del rango de medición. Son válidos para cualquier posición del comparador de carátula.

Tabla 25. Requisitos

	Intervalo de error f_e	Intervalo local de error f_t	Intervalo total de error F_{ges}	Repetibilidad F_w	Intervalo total de error incluido el valor de histéresis f_u
Rango de medición	(División de escala)	(División de escala)	(División de escala)	(División de escala)	(División de escala)
mm	μm	μm	μm	μm	μm
0,4	7	5	9	3	3
0,8	7		9		
3	10		12		
5	12		14		
10	15		17		

Fuente: Autor

indicadores de dial de precisión con una resolución mayor a 1 μm , los valores de la Tabla 2 se deben aplicar para cualquier posición y no deben ser excedidos en ningún punto dentro del rango de medición.

Para indicadores de dial de precisión con resolución de hasta 1 μm inclusive, los valores se deben aplicar para la posición vertical con émbolo apuntando hacia abajo. En otras posiciones, estos valores se pueden superar en 30%.

Tabla 26. Requisitos para calibración de comparadores de reloj

Valor de división de escala	f_e	f_t	f_{ges}	f_w	f_u
μm	Divisiones de escala	Divisiones de escala	Divisiones de escala	Divisiones de escala	Divisiones de escala
Hasta 1	1,0	0,7	1,2	0,5	0,5
Mayor a 1				0,3	0,3

Fuente: Autor

5.4.6 Operaciones previas para calibración de comparadores de reloj

5.4.6 1 *Trazabilidad patrones para calibración de comparadores de reloj.* Verificar que los patrones a ser utilizados han sido calibrados y que un certificado válido esté disponible.

5.4.6 2 *Condiciones ambientales para calibración de comparadores de reloj.* Para el conocimiento de la temperatura ambiente, es recomendable contar con un sensor de resolución igual o inferior a 0,5 °C situado próximo a la zona de medida.

Tabla 27. Condiciones ambientales para la calibración de comparadores de reloj

Temperatura	Dentro de	Humedad	Dentro de
°C	+/- °C	%	+/- %
20	3	50	20

Fuente: Autor

5.4.6 3 *Limpieza de comparadores de reloj.* Limpie cuidadosamente el indicador y el calibrador de indicadores con un paño suave y seco. Tanto el indicador como el patrón deberán estar libres de polvo y suciedad.

5.4.6.4 *Verificación del estado del indicador de carátula de comparadores de reloj.* Antes de iniciar la calibración inspeccione las diferentes partes del indicador y reporte como observación cualquier condición del instrumento a calibrar que altere su funcionamiento, en el caso que el indicador presente condiciones que impidan completamente su calibración tal como el movimiento no uniforme de la aguja indicadora, o que las condiciones del cristal protector de la caratula impidan su lectura reporte dichas condiciones.

5.4.6.5 *Resumen de comparadores de reloj.* La calibración de un indicador de dial se la realiza utilizando como patrón un tornillo micrométrico y consiste en hacer desplazar el émbolo del indicador de dial con el émbolo del tornillo micrométrico. La lectura del indicador de dial correspondiente al desplazamiento de su émbolo se compara con la lectura del tornillo micrométrico.

Hay que buscar coincidencia entre la aguja y una división de la carátula y leer la desviación de la posición del palpador en el dispositivo de prueba (tornillo micrométrico patrón). La aguja se debe ajustar solamente en un sentido, palpador entrando o palpador saliendo.

5.4.7 *Descripción para la calibración de comparadores de reloj*

5.4.7.1 *Aparatos y equipos para la calibración de comparadores de reloj.* Las desviaciones f_e , f_t , f_{ges} y f_u se pueden medir con dispositivos especiales para calibrar comparadores, con tornillos micrométricos, comparadores y bloques calibres del grado 1 o 0. En el mercado se encuentra una variedad de diseños y modelos, desde los más sencillos hasta los más sofisticados con un grado alto de automatización.

La calibración de comparadores con bloques calibres sin embargo tiene la desventaja, que prácticamente se puede medir solamente con el émbolo saliente. Por lo tanto se puede solamente medir f_e y no f_{ges} y f_u . Comparadores que se utilizan solamente en mediciones con émbolo saliente se pueden por lo tanto calibrar con bloques calibres.

Comparadores que se utilizan para mediciones con émbolo entrante y saliente requieren calibración con dispositivos especiales.

Al escoger los patrones para la calibración de los comparadores se debe fijarse en el hecho que los límites de error de ellos no sobrepasen el 10% los límites de los comparadores.

La fuerza de medición se puede determinar con un dinamómetro (celda de carga) o con una balanza de resorte.

5.4.7.2 *Símbolos para la calibración de comparadores de reloj.* Los símbolos a utilizarse en este procedimiento se darán según se vayan definiendo.

5.4.7.3 *Procedimiento para la calibración de comparadores de reloj.* Todos los datos serán registrados en el formato LPC FC 14.

- Prueba de la función para la calibración de comparadores de calor. El palpador tiene que entrar y salir libremente. El juego del palpador en dirección transversal al mismo debe ser menor que 30 μm . Movilidad de la escala y de los indicadores de tolerancia. Recorrido adelantado: aguja por lo menos 1 /10 de revolución antes de 0. Recorrido adelantado: aguja por lo menos 1/10 por encima del rango de medición. Dispositivo de conteo de revoluciones. Dispositivo de levantar el palpador.
- Rango de desviación total para la calibración de comparadores de calor. Manteniendo el husillo del indicador de carátula verticalmente hacia abajo realizar el siguiente procedimiento fijando la lectura del indicador de dial en el punto cero.

Presione hasta dentro del husillo de 1/10 en 1/10 de revolución hasta dos revoluciones desde el punto cero, de 1/2 en 1/2 revolución hasta 5 revoluciones y de 1 en 1 revolución hasta el punto final del rango de medición que exceda de cinco revoluciones y, regresando el husillo en el mismo estado, lea los mismos puntos de medición que en la dirección de entrada. Obtener el error del diagrama de error hecho como resultado de la lectura en ambas direcciones (JIS B 7503: 1997).

- Repetibilidad para la calibración de comparadores de reloj. La repetibilidad se determina en una posición cualquiera del palpador, pero preferencialmente en el primer tercio de la escala, mediante 5 mediciones de la misma medida con el palpador saliendo.
- Histéresis (f_u) para la calibración de comparadores de reloj. Diferencia de lecturas en el mismo punto con palpador entrando y saliendo. Se mide este valor en dos puntos dentro del rango de la medición con el palpador entrando y saliendo, determinando la diferencia.

5.4.8 Cálculos para la calibración de comparadores de reloj. En la tabla de calibración se reportará los errores del instrumento los cuales se calcularán de la siguiente manera:

Error = Lectura del instrumento – Valor del patrón

f_u = Máximo |Lectura patrón Descendente – Lectura patrón Ascendente

f_{ges} = Valor máximo (Lectura patrón) – Valor mínimo (Lectura patrón)

f_w = Valor máximo (ensayo repetibilidad) – Valor mínimo (ensayo repetibilidad)

5.4.8.1 Estimación de la incertidumbre para la calibración de comparadores de reloj. Incertidumbre en la calibración de comparadores de reloj o indicadores de dial.

Mensurando

Valor que marca un patrón cuando la aguja del comparador de reloj se encuentra sobre una de sus marcas de escala.

Exactitud

Se debe utilizar equipos que proporcionen una incertidumbre menor o igual a la tercera parte del error máximo permitido.

Patrones y equipos

Patrón electrónico Steinmeyer

Factores de influencia

Los factores de influencia que se han considerados se encuentran en forma explícita en el modelo matemático.

Modelo matemático

Para la calibración de un comparador de reloj se utiliza el siguiente modelo.

$$e = L_{ccr} - L_{cr} \quad (127)$$

Dónde:

L_{ccr} lectura del comparador de comparadores de reloj (patrón electrónico Steinmeyer)

L_{cr} lectura del comparador (calibrando)

Cálculo de la incertidumbre

Fuente de incertidumbre:

1. $U_{L_{ccr}}$: Incertidumbre del comparador de comparadores de reloj patrón (certificado)
2. $U_{L_{cr}}$: Incertidumbre del comparador de reloj
3. $U_{repetibilidad}$: Incertidumbre por repetibilidad
4. $U_{histéresis}$: Incertidumbre por histéresis
5. $U_{resolución}$: Incertidumbre por resolución

$$U = \sqrt{(U_{L_{ccr}})^2 + (U_{L_{cr}})^2} \quad (128)$$

$$(U_{L_{cr}})^2 = (U_{repetibilidad})^2 + (U_{histéresis})^2 + (U_{resolución})^2 \quad (129)$$

Ecuación 126 en Ecuación 127

Incetidumbre de la medición combinada

$$U_C = \sqrt{(U_{LCCR})^2 + (U_{repetibilidad})^2 + (U_{histeresis})^2 + (U_{resolución})^2}$$

(130)

Incertidumbre de la medición expandida o total

$$U_e = 2 * U_C$$

(131)

Dónde:

U_e = Incertidumbre de medición expandida

2 = K = 2 Constante para un nivel de confianza de 95, %

U_C = Incertidumbre de medición combinada

Incertidumbre del comparador de comparadores de reloj patrón (certificado)

$$U_{LCCR} = 0,25\mu m + 5 * 10^{-6} * l$$

(132)

Incertidumbre por repetibilidad

$$U_{repetibilidad} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

(133)

Dónde:

σ =Desviación estándar de la repetibilidad

n = número de repeticiones

Incertidumbre por resolución

$$U_{\text{resolución}} = \frac{\frac{\text{mínima división}}{2}}{\sqrt{12}} \quad (134)$$

Incertidumbre por histéresis

$$U_{\text{histéresis}} = \frac{\text{histeresis máxima}}{\sqrt{12}} \quad (135)$$

5.4.9 *Ejemplo para la calibración de comparadores de reloj.* Calibración de un comparador de reloj análogo rango de medición de 0-10 mm y resolución 0.01mm .Las condiciones de temperatura se mantiene dentro de los límites de 20°C±3°C.

Condiciones Ambientales

Temperatura : 23.0 °C

Humedad : 60.2 %

Presión : 742.65 hPa.

Tabla 28. Toma y tratamiento de datos para la calibración de comparador de reloj

Lectura	ENTRANTE	SALIENTE
Instrumento	Lectura patrón	Lectura Patrón
(mm)	(mm)	(mm)
0,0000	0,0000	0,0005
0,1000	0,0998	0,0992
0,2000	0,2008	0,2004
0,3000	0,3002	0,2992
0,4000	0,3999	0,3998
0,5000	0,4997	0,4994
0,6000	0,6002	0,5999
0,7000	0,7009	0,6996
0,8000	0,8007	0,8002
0,9000	0,9008	0,9005
1,0000	0,9999	0,9995
1,5000	1,5014	1,5008
2,0000	2,0003	1,9999
2,5000	2,5012	2,5005
3,0000	3,0006	2,9997
3,5000	3,5007	3,5005
4,0000	4,0017	4,0012
4,5000	4,5013	4,5009
5,0000	5,0010	5,0018
6,0000	6,0004	6,0012
7,0000	7,0019	7,0020
8,0000	8,0013	8,0020
9,0000	9,0022	9,0024
10,0000	10,0026	10,0028

Fuente: Autor

Cálculo de la incertidumbre:

Contribuciones a la incertidumbre combinada en la calibración de los comparadores de reloj.

$U_{(lcr)}$ = Incertidumbre de la lectura del comparador de reloj

$U_{(histéresis)}$ = Incertidumbre por histéresis

$U_{(resolución)}$ = Incertidumbre por resolución

$U_{(repetibilidad)}$ = Incertidumbre por repetibilidad

$U_{(lccr)}$ = Incertidumbre de la lectura del comparador de comparadores de reloj (Patrón)

Tabla 29. Cálculo de la incertidumbre para la calibración de comparadores de reloj

$U_{(lcr)}$	$U_{(histéresis)}$	$U_{(resolución)}$	$U_{(repetibilidad)}$	$U_{(lc)}$
$U_k=2 / 2$	$1.3 / (12)^{1/2}$	$10/2 / (12)^{1/2}$	$0,3/(5)^{1/2}$	$(\sum U^2)^{1/2}$
0.125	0,375	1,443	0,134	1,50

Fuente: Autor

Tabla 30. Resultados obtenidos para la calibración e comparadores de reloj

Lectura Instrumento (mm)	ENTRANTE		SALIENTE	
	Lectura patrón (mm)	error (μm)	Lectura Patrón (mm)	error (μm)
0,0000	0,0000	0,0	0,0005	-0,5
0,1000	0,0998	0,2	0,0992	0,8
0,2000	0,2008	-0,8	0,2004	-0,4
0,3000	0,3002	-0,2	0,2992	0,8
0,4000	0,3999	0,1	0,3998	0,2
0,5000	0,4997	0,3	0,4994	0,6
0,6000	0,6002	-0,2	0,5999	0,1
0,7000	0,7009	-0,9	0,6996	0,4
0,8000	0,8007	-0,7	0,8002	-0,2
0,9000	0,9008	-0,8	0,9005	-0,5
1,0000	0,9999	0,1	0,9995	0,5
1,5000	1,5014	-1,4	1,5008	-0,8
2,0000	2,0003	-0,3	1,9999	0,1
2,5000	2,5012	-1,2	2,5005	-0,5
3,0000	3,0006	-0,6	2,9997	0,3
3,5000	3,5007	-0,7	3,5005	-0,5
4,0000	4,0017	-1,7	4,0012	-1,2
4,5000	4,5013	-1,3	4,5009	-0,9
5,0000	5,0010	-1,0	5,0018	-1,8
6,0000	6,0004	-0,4	6,0012	-1,2
7,0000	7,0019	-1,9	7,0020	-2,0
8,0000	8,0013	-1,3	8,0020	-2,0
9,0000	9,0022	-2,2	9,0024	-2,4
10,0000	10,0026	-2,6	10,0028	-2,8
Repetibilidad (mm):				
3,5008	3,5000	3,5005	3,5005	3,5004

Tabla31.
Incertidumbre

Incertidumbre combinada (u)	1,50 μm
Incertidumbre expandida (U)	3,01 μm

Fuente: Autor

Evaluación

Tabla 32. Evaluación para la calibración de comparadores de reloj

EVALUACIÓN				
		Error Max. Determ. (μm)	emp.(*) (μm)	EVALUACIÓN
Histéresis	fu	1,3	3,0	CUMPLE
Rango de desviación total	fges	3,6	17,0	CUMPLE
Repetibilidad	fw	0,3	3,0	CUMPLE
Declaración de conformidad:	Los errores determinados en la calibración del instrumento se encuentran DENTRO de los límites de los errores máximos permitidos, emp, declarados por el fabricante. (*) emp = error máximo permitido			

Fuente: Autor

Certificado / Informe. Elaborar el Certificado / Informe que cumpla con los requisitos del procedimiento LPC PC 01

Anexos LPC FC 14. Se anexa un ejemplo de Certificado y uno de Informe Técnico de calibración

5.5 Procedimiento para calibración de reglas rígidas

5.5.1 Índice para calibración de reglas rígidas

- Objetivo
- Alcance
- Referencia
- Contenido

5.5.2 Objetivo para calibración de reglas rígidas. Este procedimiento describe el proceso a seguir en la calibración de reglas rígidas, por comparación con la regla metálica patrón. Se asume que las reglas rígidas tienen el mismo coeficiente de expansión que la regla patrón.

5.5.3 Alcance para calibración de reglas rígidas. Este método es aplicable a todas las reglas metálicas de longitud no mayor a 3 m.

5.5.4 Referencias para calibración de reglas rígidas

- LPCPA 01, Procedimiento para la elaboración, actualización y aprobación de documentos.
- LPC PC 22, Estimación de la Incertidumbre de las calibraciones que realiza el LPC.
- NBS, Handbook 145, Handbook for the Quality Assurance of Metrological Measurement.
- NTE INEN 1206:2000, Instrumentos de medición de longitud de uso común

5.5.5 Generales para calibración de reglas rígidas

5.5.5.1 Introducción para calibración de reglas rígidas. La longitud máxima de regla puede ser directamente comparado con la regla patrón es 100 cm. Sin embargo, las longitudes más grandes podrán ser calibradas en segmentos de 100 cm con referencia a la regla patrón.

5.5.5.2 *Pre requisitos para calibración de reglas rígidas.* La precisión de la calibración de reglas patrón está dentro de 0,00254 mm.. El certificado de calibración del patrón primario deberá estar disponible.

El técnico deberá ser experto en hacer las mediciones de longitud y particularmente al estimar las diferencias de escala, utilizando una redcilla ocular.

5.5.5.3 *Resumen para calibración de reglas rígidas.* Una regla rígida (regla de ensayo) es calibrada por comparación de intervalos de ésta con intervalos de la regla patrón. Una redcilla ocular (micrómetro ocular) es utilizada para este propósito. Las reglas de ensayo más grandes que la regla patrón pueden ser calibradas en segmentos, utilizando la graduación calibrada más reciente (última) como la marca de graduación cero para los segmentos sucesivos.

5.5.6 *Descripción para calibración de reglas rígidas*

5.5.6.1 *Aparatos y equipos para calibración de reglas rígidas.* Mesa de longitudes o una superficie plana similar en la cual se asienta la regla de ensayo y la regla patrón.

Regla patrón con el certificado de calibración válido. Microscopio con rejilla ocular para comparar las graduaciones. La rejilla deberá tener intervalos de graduación de 0,05 mm o menos.

5.5.7 *Procedimiento para calibración de reglas rígidas.* Tanto la regla de ensayo y la regla patrón deberán estar en equilibrio de temperatura con el laboratorio de longitud.

Colocar la regla de ensayo y la regla patrón en la mesa de longitudes o similar superficie plana, paralelo el uno del otro con los bordes de lectura adyacentes. No es necesario tener las graduaciones "cero" en coincidencia.

Ordinariamente, esto requerirá que una regla lea de izquierda a derecha (unidades en aumento) mientras que otros datos de derecha a izquierda (unidades en disminución). En este caso, por conveniencia de cálculo, la regla patrón está colocada en la posición derecha

a izquierda. Colocar láminas bajo una de las reglas como sea necesario de tal manera que las superficies superiores de ambos estén en el mismo plano.

Colocar el micrómetro ocular sobre la masa en la vecindad de la posición cero y ajustar de tal manera que su escala sea paralela a las escalas bajo ensayo.

Observar y registrar los datos de los lados izquierdos y derechos de la graduación correspondiente de la regla patrón. El promedio de estos datos darán un valor para A.

Observar y registrar los datos de los lados izquierdos y derechos de la graduación correspondiente de la regla patrón. El promedio de estos datos darán un valor para B. Si la graduación "cero" es el final de la regla, únicamente el dato para el final de la regla es tomado.

Mover el microscopio ocular sucesivamente para cada graduación que necesite ser calibrado y los datos registrar. Los datos del patrón deberán ser registrados como valores para C y los datos para la regla de ensayo como D. Precaución: Asegúrese que las reglas no se alteren por el movimiento del microscopio.

Regresar el microscopio ocular a la graduación cero y repetir los datos. Aceptar todos los datos previos si el dato cero no está de acuerdo con el dato previo por más de 0,05 mm; de otra manera desechar y repetir la secuencia completa de datos hasta que un conjunto satisfactorio es obtenido.

5.5.8 *Cálculos para calibración de reglas rígidas.* Calcular el centro de cada graduación (la media de los ejes izquierdo y derecho de cada graduación) en cada intervalo medido. Registrar cada valor en el espacio apropiado del formato LPC FC 04. El centro de la graduación "cero" en la regla patrón es A; para la regla de ensayo es B. Los centros de las graduaciones para el patrón y la regla de ensayo están registrados como C y D, respectivamente, para cada intervalo medido. Para cada ensayo los valores para A y B son utilizados para calcular la diferencia medida entre el patrón y la regla de ensayo para cada intervalo medido en dicho ensayo

Calcular las diferencias medidas, d_1 y d_2 , para cada ensayo para cada intervalo medido y registrar la hoja de datos. La diferencia medida $d_i = A_i - B_i - C_i + D_i$ para cada ensayo donde i es el número de ensayo 1 o 2. Registrar la longitud del patrón L_s , para cada intervalo medido.

Calcular la longitud, L_x , de la regla de ensayo para cada intervalo medido utilizando la media de las diferencias medidas, $L_x = (d_1 + d_2)/2 + L_s$.

5.5.9 *Estimación de la incertidumbre para calibración de reglas rígidas.* Incertidumbre para calibración de flexómetros, reglas metálicas y cintas hasta 7 m.

Mensurando. El mensurando es el valor de la longitud de los instrumentos arriba descritos desde la marca de cero hasta la marca donde se calibra.

Exactitud. Se debe utilizar patrones y equipos que proporcionen una incertidumbre menor o igual a la tercera parte del error máximo permitido.

Patrones y Equipos. flexómetro o regla patrón, microscopio con divisiones internas

5.5.10 *Factores de influencia para calibración de reglas rígidas.* Los factores de influencia considerados se encuentran en forma explícita en el modelo matemático.

5.5.11 *Método para calibración de reglas rígidas.* El método se encuentra detallado en el procedimiento de calibración LPC – PC - 10 y 11 del manual de procedimientos de la Dirección de Aseguramiento Metrológico.

Modelo matemático

Para la calibración de estos instrumentos se utiliza el siguiente modelo:

$$L_x = L_p + \Delta L \quad (136)$$

L_x = Longitud en el calibrando

L_p = Longitud en el patrón

ΔL = Diferencia entre el calibrando y el patrón (corrección sistemática)

Para hallar ΔL colocamos el patrón y el calibrando en paralelo y nos ayudamos de un microscopio con graduaciones internas de: 40 micrómetros por cada graduación (0,04 mm)

$$d_o = \left(\frac{C_o + D_o}{2} \right) - \left(\frac{A_o + B_o}{2} \right) \quad (137)$$

$$d_i = \left(\frac{C_i + D_i}{2} \right) - \left(\frac{A_i + B_i}{2} \right) \quad (138)$$

$$\begin{aligned} \Delta L = d_i - d_o &= \frac{1}{2}(C_i + D_i - A_i - B_i) - \frac{1}{2}(C_o + D_o - A_o - B_o) \\ &= \frac{1}{2}(C_i - C_o + D_i - D_o + A_o - A_i + B_o - B_i) \end{aligned} \quad (139)$$

La incertidumbre de L_x en el modelo planteado es:

$$UL_x = k \sqrt{(u_{L_p})^2 + (u_{\Delta L})^2} \quad (140)$$

Dónde:

k = Factor de cobertura = 2

u_{L_p} = Incertidumbre del patrón

$u_{\Delta L}$ = Incertidumbre de la diferencia.

En el caso de utilizar el flexómetro patrón se tiene una incertidumbre de 0,05 mm.

La incertidumbre de ΔL se estima de la siguiente manera:

$$u\Delta L = \frac{1}{2} \sqrt{(u_{C_i})^2 + (u_{C_o})^2 + (u_{D_i})^2 + (u_{D_o})^2 + (u_{A_o})^2 + (u_{A_i})^2 + (u_{B_o})^2 + (u_{B_i})^2} \quad (141)$$

Los A, B, C y D son lecturas en el microscopio, de manera que la incertidumbre de estos es la incertidumbre de resolución del instrumento.

$$u_{resolucion} = \sqrt{\frac{(0,04)^2 mm^2}{2}} = 0,0115 mm \quad (142)$$

$$u_{C_i} = u_{C_o} = u_{D_i} = u_{D_o} = \dots \dots \dots u_{resolucion} = 0,0115 \quad (143)$$

$$u\Delta L = \frac{1}{2} \sqrt{8 \times (0,0115 mm)^2} = 0,01626 mm \quad (144)$$

$$UL_x = 2\sqrt{(0,05)^2 + (0,01626)^2} mm = 2\sqrt{0,0025 + 0,0002643} \quad (145)$$

$$= 0,1051 mm \approx 0,11 mm \approx 110 micras. \quad (146)$$

Si el instrumento es mayor a 7 m, se deberá calibrar por secciones, en este caso la incertidumbre se la estimará de la siguiente manera:

$$UL_x = \sqrt{110n} \text{ Micrómetros} \quad (147)$$

Dónde:

n es el número de secciones en las cuales se dividió el instrumento.

5.5.13 Evaluación para calibración de reglas rígidas. Los resultados de la calibración del instrumento se evaluarán de acuerdo con la norma NTE INEN 1206:2000

5.5.14 Certificado / informe para calibración de reglas rígidas. Elaborar el Certificado / Informe que cumpla con los requisitos del procedimiento

5.6 Procedimiento para calibración de cintas

5.6.1 Índice para calibración de cintas

- Objetivo
- Alcance
- Referencia
- Contenido

5.6.2 Objetivo para calibración de cintas. Este procedimiento describe el proceso a seguir en la calibración de cintas, por comparación con una cinta patrón.

5.6.3 Alcance para calibración de cintas. Este método es aplicable a toda cinta de longitud no mayor a 100 m.

5.6.4 Referencias para calibración de cintas

- LPCPA 01, procedimiento para la elaboración, actualización y aprobación de documentos.
- LPC PC 22, estimación de la incertidumbre de las calibraciones que realiza el LPC.
- NBS, Handbook 145, Handbook for the Quality Assurance of Metrological Measurement.
- NTE INEN 1206:2000, Instrumentos de medición de longitud de uso común.

5.6.5 Generales para calibración de cintas

5.6.5.1 Introducción para calibración de cintas. Las cintas metálicas son utilizadas por contratistas, medidores de tierras, y otros para construcción de edificios, medición de áreas de tierra, establecimiento de perímetros de tierras y propósitos similares. Las incertidumbres en algunas medidas podrán causar desalineamientos estructurales, controversias de perímetros y otros problemas.

5.6.5.2 *Pre requisitos para calibración de cintas.* Verificar que las calibraciones para la cinta patrón y los termómetros estén disponibles y válidos en el momento de la medición.

Verificar que el microscopio ocular utilizado en mediciones de diferencias en longitudes tenga buenas condiciones para el trabajo.

Verificar que el técnico haya sido entrenado en el uso de este método. Notar que la precisión y exactitud obtenidas dependen del cuidado con que se ejercite la alineación de las cintas sobre la mesa de longitudes, y la aptitud requerida en el uso de un micrómetro óptico para medir las diferencias de escala.

5.6.5.3 *Resumen para calibración de cintas.* La cinta a ser calibrada y la cinta patrón serán colocadas sobre la mesa y una tensión suficiente serán aplicadas para asegurar que estas se asiente en forma plana sobre la mesa. Las diferencias entre la graduación sobre la cinta a ser calibrada y la cinta patrón son medidos utilizando un micrómetro ocular.

La temperatura de la cinta es observada y las correcciones aplicadas a una temperatura de 20°C, como se requiera, utilizando fórmulas o tablas las cuales son proporcionadas. Todos los datos son registrados en el formato LPC FC 04. Los intervalos típicos a ser calibradas en una cinta de 50 m son: Cada metro hasta 5 metros luego 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, y 50 metros de longitud.

5.6.5 *Descripción para calibración de cintas*

5.5.6.1 *Aparatos y equipos para calibración de cintas.* Mesa de longitudes o una superficie plana similar en la cual se asienta la cinta de ensayo y la cinta patrón de al menos 5 metros de longitud.

Cinta patrón con el certificado de calibración válido.

Dos termómetros, capaces de indicar temperaturas en el rango de 15 a 30°C y con un exactitud de $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

Microscopio óptico con escala ocular teniendo dimensiones espaciadas de 40 μ .

Tornillos y pesas para aplicar una tensión apropiada a la cinta bajo calibración y la cinta patrón. (Ver "Especificaciones de tensión", en el Apéndice).

5.6.6 *Procedimiento para calibración de cintas.* Limpiar la cinta con un tela suave primero, y luego con un paño suave saturada con alcohol para remover la película de grasa protectora. (Ver Apéndice C, Sección C.1). Colocar dos termómetros sobre la mesa en intervalos de 1/3 y 2/3 de la longitud de la barra para determinar su temperatura en el momento del ensayo.

Colocar la cinta de ensayo y la cinta patrón en la mesa de longitudes o similar superficie plana, paralelo el uno del otro con los bordes de lectura adyacentes. No es necesario tener las graduaciones "cero" en coincidencia.

Tensionar la cinta de ensayo y la cinta patrón con las pesas apropiadas respectivas. Ver Apéndice.

Todos los datos se registrarán en el formato LPC FC 06 o 07 según sea aplicable. Registrar las temperaturas indicadas por los dos termómetros.

Colocar el microscopio ocular sobre la mesa en la vecindad de la posición cero y alinéele de tal manera que su escala es paralela a la cinta bajo ensayo. (Ver GMP No. 2 para las instrucciones sobre cómo se hacen las lecturas).

Observar los datos de los lados izquierdos y derecho de la graduación cero de la cinta patrón y registrar este dato como A.

Observar los datos de los lados izquierdos y derecho de la graduación cero de la cinta de ensayo y registrar este dato como B.

Mover el microscopio ocular sucesivamente para cada graduación que requiera ser calibrada y registrar los datos similarmente. Estos datos se registrarán como C y D para la cinta patrón y cinta de ensayo respectivamente.

Regresar el microscopio ocular para la graduación cero y repetir los datos para verificar que las cintas no han sido movidas. Aceptar todos los datos previos si el dato cero no está en desacuerdo con el dato previo por más de 25 μm ; de otra manera desechar toda información previa y repetir la secuencia por completo de los datos hasta que un conjunto satisfactorio sea obtenido.

Quitar las pesas de tensión, mover las cintas, sostener las pesas, y volver a alinear las marcas de cero de las cintas.

Hacer un segundo conjunto de mediciones como se indica en los puntos 5.3.7, Registrar las temperaturas indicadas por los dos termómetros.

Después que todas las mediciones estén completas, aplicar una película fina de aceite en la cinta.

5.6.7 Cálculos para calibración de cintas. Calcular el centro de cada graduación (la media de los ejes izquierdo y derecho de cada graduación) en cada intervalo medido. Registrar cada valor en el espacio apropiado del formato LPC FC 04. El centro de la graduación "cero" en la cinta patrón es A; para la cinta de ensayo es B. Los centros de las graduaciones para la cinta patrón y la cinta de ensayo están registradas como C y D, respectivamente, para cada intervalo medido. Para cada ensayo los valores para A y B son utilizados para calcular la diferencia medida entre el patrón y la regla de ensayo para cada intervalo medido en dicho ensayo.

Calcular las diferencias medidas, d_1 y d_2 , para cada ensayo para cada intervalo medido y registrar la hoja de datos. La diferencia medida $d_i = A_i - B_i - C_i + D_i$ para cada ensayo donde i es el número de ensayo 1 o 2.

Calcular $d = (d_1 + d_2)/2$ para cada intervalo de escala.

Obtener la corrección para el patrón, C_s , a partir del certificado de calibración para la escala de la mesa de longitudes y tabular.

Calcular la corrección de temperatura k, a partir de la ecuación

$$K = L_n [(T - 20) (a_s - a_x)] \quad (148)$$

Dónde:

a_s = coeficiente de expansión lineal de la cinta patrón

$$(10,63 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})$$

a_x = coeficiente de expansión lineal para la cinta de ensayo

$$(11,60 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})$$

L_n = largo nominal del intervalo de cinta bajo ensayo

En esta ecuación, T es el promedio de 4 lecturas de temperatura, como se describe en las secciones anteriores. En el caso de cinta de metal el valor de K puede ser obtenido a partir de la tabla del apéndice B.

Calcular la corrección C_x , para cada ensayo y cada intervalo de la escala.

$$C_x = d + C_s + K \quad (149)$$

Calcular y reportar la media, $\overline{C_x}$, de las correcciones para cada intervalo.

Calcular el largo de la cinta bajo una carga de 5 kg como:

$$L_o = L + \overline{C_x} \quad (150)$$

Donde L es la longitud nominal del intervalo.

5.6.8 *Estimación de la incertidumbre para calibración de cintas.* Incertidumbre para calibración de flexómetros, reglas metálicas y cintas hasta 7 m.

Mensurando. El mensurando es el valor de la longitud de los instrumentos arriba descritos desde la marca de cero hasta la marca donde se calibra.

Exactitud. Se debe utilizar patrones y equipos que proporcionen una incertidumbre menor o igual a la tercera parte del error máximo permitido.

Patrones y Equipos. flexómetro o regla patrón, microscopio con divisiones internas

Factores de Influencia: Los factores de influencia considerados se encuentran en forma explícita en el modelo matemático.

5.6.9 Método para calibración de cintas. El método se encuentra detallado en el procedimiento de calibración LPC – PC - 10 y 11 del manual de procedimientos de la Dirección de Aseguramiento Metrológico.

Modelo matemático: Para la calibración de estos instrumentos se utiliza el siguiente modelo:

$$L_x = L_p + \Delta L \quad (151)$$

L_x = Longitud en el calibrando

L_p = Longitud en el patrón

ΔL = Diferencia entre el calibrando y el patrón (corrección sistemática)

Para hallar ΔL colocamos el patrón y el calibrando en paralelo y nos ayudamos de un microscopio con graduaciones internas de: 40 micrómetros por cada graduación (0,04 mm)

$$d_o = \left(\frac{C_o + D_o}{2} \right) - \left(\frac{A_o + B_o}{2} \right) \quad (152)$$

$$d_i = \left(\frac{C_i + D_i}{2} \right) - \left(\frac{A_i + B_i}{2} \right) \quad (153)$$

$$\begin{aligned}\Delta L &= d_i - d_0 = \frac{1}{2}(C_i + D_i - A_i - B_i) - \frac{1}{2}(C_0 + D_0 - A_0 - B_0) \\ &= \frac{1}{2}(C_i - C_0 + D_i - D_0 + A_0 - A_i + B_0 - B_i)\end{aligned}\quad (154)$$

La incertidumbre de L_x en el modelo planteado es:

$$UL_x = k \sqrt{(u_{L_p})^2 + (u_{\Delta L})^2} \quad (155)$$

Dónde:

UL_x = Incertidumbre de L_x

k = Factor de cobertura = 2

u_{L_p} = Incertidumbre del patrón

$u_{\Delta L}$ = Incertidumbre de la diferencia.

En el caso de utilizar el flexómetro patrón se tiene una incertidumbre de 0,05 mm.

La incertidumbre de ΔL se estima de la siguiente manera:

$$u_{\Delta L} = \frac{1}{2} \sqrt{(u_{C_i})^2 + (u_{C_0})^2 + (u_{D_i})^2 + (u_{D_0})^2 + (u_{A_0})^2 + (u_{A_i})^2 + (u_{B_0})^2 + (u_{B_i})^2} \quad (156)$$

Los A, B, C y D son lecturas en el microscopio, de manera que la incertidumbre de estos es la incertidumbre de resolución del instrumento.

$$u_{resolucion} = \sqrt{\frac{(0,04)^2 \text{ mm}^2}{2}} = 0,0115 \text{ mm} \quad (157)$$

$$u_{C_i} = u_{C_o} = u_{D_i} = u_{D_o} = \dots \dots \dots u_{\text{resolución}} = 0,0115 \quad (158)$$

$$u_{\Delta L} = \frac{1}{2} \sqrt{8 \times (0,0115 \text{ mm})^2} = 0,01626 \text{ mm} \quad (159)$$

$$UL_x = 2 \sqrt{(0,05)^2 + (0,01626)^2} \text{ mm} = 2 \sqrt{0,0025 + 0,0002643} \quad (160)$$

$$= 0,1051 \text{ mm} \approx 0,11 \text{ mm} \approx 110 \text{ micras.}$$

Si el instrumento es mayor a 7 m, se deberá calibrar por secciones, en este caso la incertidumbre se la estimará de la siguiente manera:

$$UL_x = \sqrt{110n} \text{ micrómetros} \quad (161)$$

Dónde:

n es el número de secciones en las cuales se dividió el instrumento.

Evaluación

Los resultados de la calibración del instrumento se evaluarán de acuerdo con la norma NTE INEN 1206:2000

Certificado / Informe

Elaborar el Certificado / Informe que cumpla con los requisitos del procedimiento.

CAPÍTULO VI

6. ANÁLISIS DE COSTOS

6.1 Costos del sistema de aseguramiento metrológico [11]. Los costos de mantener el equipo de medición calibrado deben considerar la factibilidad de realizar la calibración y los instrumentos necesarios para realizarla, determinar si es necesario enviar el dispositivo fuera del laboratorio o fuera del país.

La determinación del costo durante el periodo de vida de los dispositivos se puede clasificar en los siguientes grupos de costos.

Figura 42. Costos del sistema de aseguramiento metrológico



Fuente: Autor

6.1.1 Costos de adquisición. Se definen los costos de adquisición como los costos iniciales de despacho de los dispositivos y sus costos asociados como la sumatoria de los costos de:

6.1.1.1 Consecución [12]. Costos de la determinación de especificaciones y requerimientos técnicos de los dispositivos de medición.

6.1.1.2 Evaluación. Costos de análisis de los dispositivos de medición representados en tiempos, viaje, visitas a los fabricantes, demostraciones, etc.

6.1.1.3 Precio. El valor real del dispositivo de medición a comprar.

6.1.1.4 Arranque. Costos de colocar el dispositivo de medición en el laboratorio (lugar especial, toma especial, instalaciones eléctricas nuevas, etc.).

6.1.1.5 Fletes. Costos de los fletes de envío del dispositivo de medición.

6.1.1.6 Tiempos de despacho. El costo causado por el retardo en la entrega, dependiendo del lugar donde se compra, fabrica, distribuidor, país, etc.

6.1.3 Costos de entrenamiento. El entrenamiento es reconocido como necesario y fundamental en el proceso de la instrumentación. El entrenamiento debe ser considerado como parte integral del instrumento, antes de encontrar problemas a causa de una mala instrucción. Los costos del entrenamiento siempre son importantes cuando se trata de personal nuevo. Los costos de un entrenamiento, cuando no están disponibles por el fabricante, ya sea por problemas técnicos o geográficos, pueden tener un alta incidencia el costo final estos son:

6.1.3.1 Entrenamiento de operación. Comprende todo lo concerniente a operaciones de las funciones del dispositivo de medición, programas o programación, generación de procedimientos, documentación de resultados y reportes.

6.1.3.2 *Entrenamiento de calibración.* Cuando se utiliza un instrumento como patrón, la calibración del mismo y los requerimientos especiales para lógralos son de suma importancia. Muchas veces el procedimiento está disponible solo en fábrica, o bajo condiciones altamente especializadas y sus costos o procedimientos resultan tantos o más costosos que el mismo instrumento.

6.1.3.1 *Entrenamiento del instructor.* En algunas situaciones se requiere el considerar la disponibilidad de un instructor.

Los costos de operación pueden ser los costos más complejos de evaluar .Cada tipo de instrumento tiene diferentes grupo de elementos que comprometen la operación.

Los costos por operación se pueden clasificar como:

6.1.4.1 *Costos flotantes.* Cuando el dispositivo de medición no está disponible, por ser un instrumento transitorio o que requiere moverse se dicen que son unidades flotantes.

6.1.4.2 *Costos de operación compleja.* Cuando la operación del dispositivo de medición es más compleja o de alto riesgo, los costos de entrenamientos más complejos son necesarios

6.1.4.3 *Costos perdonables.* La sensibilidad de un dispositivo de medición a los errores del operador, pueden tener impacto en los costos de operación

6.1.4.4 *Costos de automatización.* Los dispositivos de medición incluyen procesos u operaciones automáticas reducen los costos de operación favorablemente.

6.1.4.5 *Costos de especificaciones.* *Que* también está realizando un dispositivo de medición su trabajo, depende de que también podamos evaluarlo.

Los costos de falta de confianza en las mediciones de un instrumentó pueden además del riesgo, introducir costos de trabajo adicionales .Aunque el papel aguanta todo, la ausencia de un manual con todas las especificaciones claras, convierte el instrumento a medir en un instrumentó imposible de calibrar.

6.1.4.6 Costos de expandibilidad. Si el instrumentó permite una futura expansión de sus capacidades, el comprador debe prever las necesidades futuras y la posibilidad de obtenerlas en un futuro.

6.1.5 Costos de calibración. Los costos de mantener el tiempo de vida de la calibración de un dispositivo de medición son significativos .Estos costos varían como una función de la filosofía y estrategia del manejo de calibración.

Los factores que afectan los costos de calibración son.

6.1.5.1 Frecuencia de calibración. El número de veces el dispositivo debe ser calibrado.

6.1.5.2 Tiempo de calibración.. Que tan largo puede ser el periodo en que se mantiene la calibración, esto depende del tipo de instrumentó como de los procedimientos y el equipo de laboratorio. Un Gran número de puntos de ajuste y aplicación de constante incrementa el costo.

6.1.5.3 Costo de transporte. Los costos de transporte tiene que ser incluidos si el laboratorio de calibración no es local.

6.1.5.4 Costos de portabilidad. Que tan fácil es él envío del dispositivo de medición calibrar y cuál es su influencia en el costo de empaque y personal especializado requerido.

6.1.5.5 *Costo por requerimientos de patrones de calibración.* Evaluar si están los patrones requeridos para la calibración a nivel interno del laboratorio se requiere de un patrón especial único.

6.1.6 *Costos de mantenimiento.* La mayoría de los instrumentos electrónicos tienen costos asociados con la reparación o fallas mantenimiento preventivo y garantía tales como:

6.1.6.1 *Costos por fallas.* Uno de los muchos factores que afectan el costo por fallas, es el número de veces que falla; obviamente que mientras más falle el instrumento, más altos serán los costos. Pero cuando ocurre una falla que tan fácil y costosos es repararlo localmente; y que tantos recursos tiene el instrumento para diagnosticar la falla.

6.1.6.2 *Rutinas de mantenimiento.* La cantidad de rutinas de mantenimiento son reducidas en el caso de la instrumentación electrónica, pero aplica en elementos mecánicos.

6.1.6.3 *Aprovisionamiento.* Módulos y partes claves varían dependiendo de la filosofía del soporte de la instrumentación

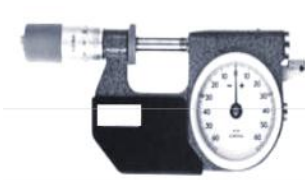
6.1.6 *Periodos de garantía.* Las fallas pueden ocurrir durante el periodo de garantía y los costos pueden ser asumidos por el fabricante.

6.1.7 Costo de los servicios de calibración del laboratorio de longitud

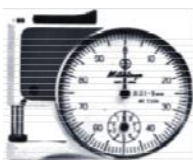
Tabla33. Costo de los servicios de calibración del laboratorio de longitud




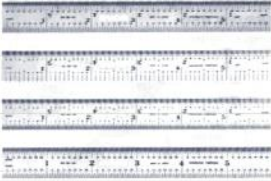

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN
LABORATORIO NACIONAL DE METROLOGÍA
LABORATORIO DE LONGITUD



Número de bloques	(bloques)	de 1 a 20		de 21 a 35	
Bloques de caras paralelas por comparación mecánica (0,5 mm a 170 mm)	dólares	19,00 por bloque		18,00 por bloque	
Número de bloques	(bloques)	de 36 a 49		de 50 en adelante	
Bloques de caras paralelas por comparación mecánica (0,5 mm a 170 mm)	dólares	17,00 por bloque		16,00 por bloque	
Calibrador con vernier o pie de rey Analógico/digital /Caratula	dólares	22	27,50	33	44
Rango máximo de medición	(mm)	150	300	500	1000
Calibrador con vernier de profundidad Analógico/digital /Caratula	dólares	22	33	44	55
Rango máximo de medición	(mm)	25	100	200	
Micrómetro de exteriores analógico / mecánico / digital	dólares	22	26,40	28,60	
Rango máximo de medición	(mm)	300	400	500	
Micrómetro de exteriores analógico / mecánico / digital	dólares	30,80	33	35,20	
Rango máximo de medición	(mm)	25			
Micrómetro de profundidad analógico / mecánico / digital	dólares	24,20			
Rango máximo de medición	(mm)	25	100	200	



Micrómetro de carátula	dólares	24,20	28,60	30,80	
Rango máximo de medición	(mm)	50	75	100	175
Micrómetro de interiores analógico / mecánico / digital	dólares	26,40	26,40	28,60	30,80
Rango máximo de medición	(mm)	50	75	100	175
Micrómetro de interiores analógico / mecánico / digital	dólares	24,20	26,40	28,60	30,80
Rango máximo de medición	(mm)	50	75	100	175
Micrómetro de interiores tubulares	dólares	24,20	26,40	28,60	30,80
Rango máximo de medición	(mm)	3		10	
Comparador de reloj (Caratula) minima graduación: 0,01mm	dólares	35,00		50,00	
Rango máximo de medición	(mm)	1	3	5	
Comparador de reloj (Caratula) minima graduación: 0,001mm	dólares	26,40	28,60	30,80	
Rango máximo de medición	(mm)	12		30	
Comparador de reloj (Digital) minima graduación: 0,001mm	dólares	26,40		30,80	
Rango máximo de medición	(mm)	25			
Medidor de espesor (Carátula) minima graduación: 0,1mm	dólares	30			
Rango máximo de medición	(mm)	25			

	Medidor de espesor (Carátula) mínima graduación: 0,01mm	dólares	26,40			
	Rango máximo de medición	(mm)	25			
	Medidor de espesor (Digital) mínima graduación: 0,01mm	dólares	26,40			
	Rango máximo de medición	(mm)	500	1000	2000	3000
	Reglas	dólares	20,00	25,00	30,00	35,00
<i>Procedimiento: LPC PC 10</i>						
	Rango máximo de medición	(m)	2	5	7	10
	Flexómetros	dólares	25,00	37,40	41,80	50,60
	Rango máximo de medición	(m)	30	50	100	
	Flexómetros	dólares	65,00	75	132	

Fuente: Tarifario de servicios de calibración laboratorio nacional de metrología INEN

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Se concluye que el propósito de establecer un sistema de aseguramiento metrológico es de garantizar la confiabilidad y la idoneidad del instrumento de medición.

Se estableció un sistema de aseguramiento metrológico enfocado a la identificación y desarrollo de procedimientos de calibración de acuerdo a requisitos metrológicos como son criterios de aceptación, errores máximos permitidos para los diferentes instrumentos que se calibran en el laboratorio de longitud.

Un Sistema de aseguramiento metrológico permite mantener un control eficiente sobre los equipos de medición reduciendo los riesgos de obtener resultados de medición incorrectos

Todo equipo o instrumento que afecte la calidad, se debe calibrar. De poderlo hacer así, debe existir algún método alternativo que nos permita tener confianza de la medida realizada.

Un equipo nuevo no da garantía de una medición correcta, salvo el caso que este se haya calibrado.

Un instrumento patrón debe ser 10 veces de mejor calidad en todos sus aspectos que el instrumento que se desea calibrar.

Un Sistema de aseguramiento metrológico requiere además de funciones bien definidas, que se dispongan de instructivos de ajuste y mantenimiento, para los equipos e instrumentos de calibración, de material adicional que clarifique aspectos técnicos como es el caso del cálculo de incertidumbre.

Se concluye que se debe utilizar únicamente patrones con calibraciones vigentes asegurarse, además que cumplan con las tolerancias y resoluciones necesarias para la calibración.

7.2 Recomendaciones

Se recomienda establecer un método para notificar que un equipo utilizado para calibración esta fuera de tolerancia, cuando no cumple con los requisitos de exactitud en el momento de la calibración.

La calibración de los instrumentos debe efectuarse a intervalos programados de acuerdo a factores inherentes como severidad del medio ambiente, severidad de uso, frecuencia de uso, deriva del instrumento.

Se recomienda tener un plan de mantenimiento para equipos y patrones del laboratorio.

Se recomienda establecer y mantener la documentación necesaria que detalle la operación del sistema .Esta debe describir los intervalos de recalibración y la identificación de cada dispositivo de medición utilizado y calibrado.

Se recomienda que todos los aspectos del sistema de aseguramiento metrológico y del plan anual de calibración deben estar formalizados en documentos escritos en forma detallada, revisados y aprobados .El laboratorio debe proporcionar las evidencias objetivas de la operación del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Norma ISO/IEC 17025:2005(ES). “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración”.
- [2] Norma NTE INEN 2056:1996. “Metrología. Vocabulario Internacional de términos fundamentales y generales”.
- [3] Norma NTE INEN-ISO 10012:2007. “Sistemas de gestión de la calidad. Conceptos y vocabulario”.
- [4] Norma NTE INEN-ISO 9001:2001(Tercera revisión). “Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos”.
- [5] Norma ISO 19011:2002. “Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión de la calidad y/o ambiental”.
- [6] GONZÁLEZ C. – RAMÓN J. “Metrología”. Ed. McGraw-Hill Interamericana de México, S.A. de C.V. 1995.
- [7] ESTÉVEZ S. – SANZ P. “La medición en el taller mecánico”. Ediciones CEAC S.A. Barcelona – España. 1977.
- [8] CAPA S. HOLGER. “Control total de Calidad”. EPN. Quito. 1994.
- [9] DURÁN J. M. “Planificación y análisis de la calidad”. Editorial Reverté. Barcelona. 1997.
- [10] INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. Sexto programa “Gestores de la calidad en los laboratorios”. Programa 2011._ Módulo 2: Documentos del sistema de calidad._ Módulo 3: Aseguramiento Metrológico._ Módulo 4: Auditorías en los laboratorios._ Módulo 5: Incertidumbre de los resultados analíticos._ Módulo 6: Técnicas estadísticas para la calidad.
- [11] SCHMID W. – LAZOS R. “Guía para estimar la incertidumbre de la medición”. Rev. 1. CENAM. Febrero 2004.
- [12] Norma NTE INEN 1821:1998.

BIBLIOGRAFÍA

- GONZÁLEZ C, ZELENY R. Metrología. 1ª Ed. McGraw-Hill Interamericana de México, S.A. de C.V. 1995.
- Norma ISO/IEC 17025:2005(ES). “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración”.
- Norma NTE INEN 2056:1996. “Metrología. Vocabulario Internacional de términos fundamentales y generales”.
- RESTREPO, J. Aseguramiento metrológico industrial Tomo I. 1ª Ed. Textos Académicos, 2008.
- RESTREPO, J. Aseguramiento metrológico industrial Tomo II. 1ª Ed. Textos Académicos, 2008.
- RESTREPO, J. Aseguramiento metrológico industrial Tomo III. 1ª Ed. Textos Académicos, 2008.
- ZELENY, R. Manual de calibración de instrumentos para verificación geométrica del producto. Instituto de Metrología Mitutoyo, 2008.

LINKOGRAFÍA

CONFIRMACIÓN METROLÓGICA BOLETÍN METAS

<http://www.metas.com.mx/guiametas-ConfirmacionM.htmlPDF>

2011-09-13

BOLETÍN TÉCNICO DE METROLOGÍA

<http://www.mitutoyo.com.mx/Newsletter/ListaBoletines.html>

2011-07-25

NORMAS TÉCNICAS INEN

<http://apps.inen.gob.ec/descarga/>

2011-06-10

GUÍA TÉCNICAS SOBRE METROLOGÍA CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA DE MÉXICO (CENAM)

<http://www.cenam.mx/publicaciones/gratuitas/>

2011-05-15

CORPORACIÓN METROLOGÍA Y CALIDAD

<http://www.cmcmetrologia.com>

2011-06-15

METROLOGÍA

<http://es.wikipedia.org/wiki/Metrolog%C3%AD>

2011-06-21