

**IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN INTERNA DE
LOS EQUIPOS CRÍTICOS MEDIDORES DE PRESIÓN, TEMPERATURA Y
LONGITUD EN EL LABORATORIO DE METROLOGÍA DE ICOBANDAS S.A.**



**DIANA CONSTAÍN DÍAZ
MÓNICA ANDREA HOYOS GIRALDO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
INGENIERÍA FÍSICA
POPAYÁN
2010**

**IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN INTERNA DE
LOS EQUIPOS CRÍTICOS MEDIDORES DE PRESIÓN, TEMPERATURA Y
LONGITUD EN EL LABORATORIO DE METROLOGÍA DE ICOBANDAS S.A.**

**TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PASANTÍA PRESENTADO COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA FÍSICA**

**DIANA CONSTAÍN DÍAZ
MÓNICA ANDREA HOYOS GIRALDO**

**Director
Ing. MARIO MILVER PATIÑO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
INGENIERÍA FÍSICA
POPAYÁN
2010**

Nota de aceptación

Mg. Luís Fernando Echeverri
Jurado

Ing. Diego Bravo
Jurado

Fecha de Sustentación: Popayán, 04 de Marzo de 2010

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestras familias por forjarnos como personas íntegras y brindarnos su apoyo incondicional para alcanzar nuestras metas.

A la Universidad del Cauca institución que nos brindó la oportunidad de realizar nuestros estudios de pregrado y formarnos profesionalmente a través del programa de Ingeniería Física.

A Icobandas S.A. por depositar su confianza en nosotras y permitirnos realizar nuestro trabajo de grado en su laboratorio de metrología, bajo un ambiente de compromiso y colaboración.

A nuestro director, Ing. Mario Milver Patiño por su conocimiento y consejos compartidos durante la carrera.

Al Mg. Luis Fernando Echeverri por su respaldo como coordinador, profesor y amigo.

Al Ing. Libardo Antonio Muñoz por su permanente colaboración en el desarrollo de nuestro trabajo.

A nuestros amigos, compañeros y profesores quienes nos acompañaron a lo largo de la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO I. ESTADO INICIAL DEL LABORATORIO	15
1.1. INSTRUMENTACIÓN	15
1.2. DOCUMENTACIÓN	19
CAPÍTULO II. FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS MEDIDORES DE LONGITUD, PRESIÓN Y TEMPERATURA	20
2.1. LONGITUD	20
2.2. PRESIÓN	21
2.3. TEMPERATURA	23
CAPÍTULO III. MÉTODOS DE CALIBRACIÓN Y CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE	28
3.1. MÉTODOS DE CALIBRACIÓN	28
3.1.1. Comparación directa con un patrón	
3.1.2. Método de reproducción de la definición de la magnitud	
3.2. CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE	29
3.2.1. Evaluación tipo A de la incertidumbre estándar	
3.2.2. Evaluación tipo B de la incertidumbre estándar	
3.2.3. Determinación de la función	
3.2.4. Incertidumbre estándar combinada	
3.2.5. Incertidumbre expandida	

CAPÍTULO IV. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE LONGITUD	36
4.1. CINTAS MÉTRICAS	36
4.2. VERNIER	38
CAPÍTULO V. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE PRESIÓN	41
5.1. MANÓMETROS	41
CAPÍTULO VI. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE TEMPERATURA	44
6.1. TERMÓMETROS	44
CAPÍTULO VII. SOFTWARE DE CALIBRACIÓN	48
CAPÍTULO VIII. OTROS PROCEDIMIENTOS DESARROLLADOS	54
8.1. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE BALANZAS ELECTRÓNICAS	54
8.2. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE CUENTAMETROS	56
CONCLUSIONES	59
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	65

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Principales características de los manómetros patrón	17
Tabla 2. Principales características del baño térmico	18
Tabla 3. Fuentes de variación en la calibración de los equipos	33
Tabla 4. Incertidumbre de la calibración de cintas métricas	38
Tabla 5. Incertidumbre de la calibración de manómetros	43
Tabla 6. Ficha técnica Molysil 20	45
Tabla 7. Incertidumbre de la calibración de termómetros	47
Tabla 8. Pruebas de la calibración de equipos críticos	51
Tabla 9. Pesas patrón necesarias para la calibración de balanzas electrónicas	55
Tabla 10. Incertidumbre de la calibración de balanzas	56
Tabla 11. Incertidumbre de la calibración de cuentametros	58

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Banco comparador de longitudes.....	16
Figura 2. Bloques patrón de espesor	16
Figura 3. Banco comparador de presiones	17
Figura 4. Baño térmico	18
Figura 5. Equipos medidores de longitud	21
Figura 6. Instrumentos medidores de presión	22
Figura 7. Tubo bourdon	23
Figura 8. Termómetro bimetálico	25
Figura 9. Termopar	25
Figura 10. Sonda de resistencia	27
Figura 11. Distribución normal	30
Figura 12. Distribución rectangular	31
Figura 13. Distribución triangular	32
Figura 14. Montaje para calibración de cintas métricas	37
Figura 15. Montaje para calibración de Vernier	39
Figura 16. Montaje para calibración de manómetros	42
Figura 17. Montaje para calibración de termómetros	46

Figura 18. Diagrama de comprobación de equipos no críticos.....	49
Figura 19. Diagrama de calibración de equipos críticos	50
Figura 20. Prueba de calibración de decímetros	51
Figura 21. Prueba de calibración de flexómetros	52
Figura 22. Prueba de calibración de manómetros	52
Figura 23. Prueba de calibración de termómetros	53
Figura 24. Prueba de calibración de Vernier	53

GLOSARIO

AUDITORIA: Proceso sistemático, independiente y documentado para obtener evidencias y evaluarlas de manera objetiva con el fin de determinar la extensión en que se da cumplimiento al conjunto de políticas, procedimientos o requisitos utilizados como referencia.

CALIBRACIÓN: Conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones especificadas la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento de medición, o los valores representados por una medida materializada o por un material de referencia y los valores correspondientes determinados por medio de los patrones.

DIVISIÓN DE ESCALA: Parte de una escala comprendida entre dos marcas sucesivas cuyo valor esta dado por la diferencia entre los valores de dichas marcas.

EQUIPO DE MEDICIÓN: Instrumento de medición, software, patrón de medida, material de referencia o aparato auxiliar, o una combinación de estos, necesario para llevar a cabo un proceso de medición.

ERROR DE MEDICIÓN: Diferencia entre la indicación de un instrumento y el valor convencionalmente verdadero de la magnitud medida.

ESTABILIDAD: Aptitud de un instrumento de medición para mantener constante en el tiempo sus características metrológicas.

EVALUACIÓN: Ensayo para verificar si el equipo es capaz de desempeñar sus funciones planificadas.

EXACTITUD: Aptitud de un instrumento o un sistema de medición para dar respuestas próximas a un valor verdadero.

HISTÉRESIS: Desviación encontrada en el proceso de medida para el mismo valor del campo de medida, cuando se mide a lo largo del intervalo de operación del equipo inicialmente incrementando la carga y luego decrementándola.

MAGNITUD FÍSICA: Es el atributo observable de un cuerpo, caracterizado por su naturaleza, su valor numérico o medida y su unidad.

MEDICIÓN: Conjunto de operaciones que tiene por objeto determinar el valor de una magnitud.

MÉTODO DE MEDICIÓN: Secuencia lógica de operaciones, descritas de manera genérica, utilizada en la ejecución de las mediciones.

METROLOGÍA: Ciencia que trata de las medidas, de los sistemas de unidades adoptados y de los instrumentos utilizados para efectuarlas e interpretarlas.

PATRÓN: Instrumento de medición destinado a definir, materializar, conservar o reproducir la unidad de medida de una magnitud o un múltiplo o submúltiplo de ella, para transmitirla por comparación a otros instrumentos de medición.

PRECISIÓN: Es el grado de dispersión entre un conjunto de medidas.

PROCEDIMIENTO: Forma especificada para llevar a cabo una actividad o conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados.

RANGO DEL EQUIPO: Expresa la capacidad mínima y máxima de medida de un equipo.

RANGO DE MEDIDA: Rango de operación de un equipo o instrumento en el lugar donde se realiza la medición.

RESOLUCIÓN: Nivel mínimo de cambio en la entrada para que produzca un cambio observable en la salida.

REPETIBILIDAD: Dispersión de un conjunto de medidas tomadas con los mismos elementos y bajo las mismas condiciones del sistema de medición, incluyendo el personal que lo opera.

TOLERANCIA: Cantidad total que le es permitido variar a una dimensión especificada. Es la diferencia entre los límites superior e inferior especificados.

TRAZABILIDAD: Propiedad del resultado de una medición, consistente en poder relacionarlo con los patrones apropiados, generalmente nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones que tengan todas incertidumbres determinadas.

UNIDAD DE MEDIDA: Es la magnitud física cuyo valor numérico se admite convencionalmente como uno.

INTRODUCCIÓN

ICOBANDAS S.A. establece como parte de su misión realizar un permanente control de las materias primas, de los procesos y de los productos terminados, garantizando el cumplimiento de los requerimientos de sus clientes, siendo competitivos en cuanto a costos y calidad. Para ello la empresa evalúa constantemente sus procesos, de manera que pueda identificar los aspectos que deben ser mejorados y tomar acciones inmediatas y rentables sobre los mismos, asegurando la conformidad del producto con los requisitos especificados.

En el año 2004 ICOBANDAS S.A. cumplió con las exigencias que le permitieron recibir la certificación ISO 9000, por medio de la cual puede proyectarse y tener un reconocimiento en el mercado nacional e internacional que respalda la competitividad y alta calidad de sus productos, demostrando dominio de su sistema de gestión de calidad, brindando satisfacción y beneficio permanente a clientes, proveedores y accionistas.

Uno de los requisitos de la norma ISO 9000 [1] se encuentra relacionado con el Control de los Dispositivos de Seguimiento y Medición, por lo que la empresa cuenta con un laboratorio de metrología y su respectiva documentación, en el cual se realizan comprobaciones internas a los equipos críticos. De las auditorías realizadas desde entonces, fue posible identificar algunas no conformidades en el área de metrología con las que la empresa no hubiera podido renovar su certificación. Las no conformidades correspondían a la necesidad de calibrar y no solo comprobar dichos equipos, como se indica en el numeral 7.6 de la norma ISO 9000. Sin embargo, esta actividad a través de laboratorios externos resultaba muy costosa para la empresa, razón por la cual fue indispensable la implementación de procedimientos de calibración en el laboratorio de metrología de ICOBANDAS S.A.

Dado que el proceso de calibración presenta diferentes exigencias según las características del equipo sometido a este proceso, se realizó un estudio detallado para identificar las particularidades de cada ensayo, acondicionando las recomendaciones de las normas a los requerimientos de la empresa, definiendo como necesaria la calibración interna de equipos existentes medidores de presión, temperatura y longitud; así como el desarrollo de una herramienta software que permita a la persona encargada de la calibración (metrólogo) registrar este proceso y obtener los resultados, de acuerdo con los procedimientos establecidos para cada instrumento de medición de variables críticas. Cada procedimiento se trabajó de manera individual, incluyendo aspectos como la clasificación de los equipos de trabajo, la elección de equipos patrón, el control de condiciones ambientales, el cálculo del error presentado por el equipo en calibración, su tolerancia, la incertidumbre de la calibración y la definición de criterios de aceptación de acuerdo con el estado general del equipo.

De acuerdo con lo anterior, en este escrito se muestra de forma detallada el desarrollo y resultados del trabajo de grado en modalidad de pasantía realizado en la empresa ICOBANDAS S.A., presentando el estado inicial del laboratorio, al igual que una breve descripción de las variables físicas: presión, temperatura y longitud, y de los equipos críticos utilizados para medirlas, así como la importancia de las mismas en el proceso de producción de la empresa y los criterios y condiciones que se tuvieron en cuenta para la elaboración de los procedimientos de calibración de dichos instrumentos y para el desarrollo del software de evaluación. Los resultados obtenidos en este trabajo se presentan del Capítulo III al Capítulo VII, con lo cual se da cumplimiento a los objetivos de la pasantía. Además, se elaboraron procedimientos adicionales para la calibración de balanzas electrónicas y cuentametros, como se muestra en el último capítulo.

CAPÍTULO I. ESTADO INICIAL DEL LABORATORIO

El proceso productivo de ICOBANDAS S.A. requiere el continuo monitoreo de variables físicas dentro de las cuales se tienen la presión, la temperatura y la longitud. Cuando éstas se encuentran directamente relacionadas con el producto final se denominan variables físicas críticas, de ahí que la empresa debe garantizar el buen funcionamiento de los equipos destinados para medirlas. Es por esto que se cuenta con un Laboratorio de Metrología, con condiciones de temperatura, humedad y polvo controladas, así como patrones y personal competente para desarrollar las actividades establecidas en el Plan de Aseguramiento Metrológico de la empresa para el control de dichos equipos, con el fin de garantizar la conformidad del producto con los requisitos determinados.

La instrumentación y documentación mencionadas a lo largo de este capítulo fue la encontrada en el laboratorio de metrología al momento de iniciar la pasantía.

1.1 INSTRUMENTACIÓN

En el Laboratorio de Metrología a cargo del Departamento de Mantenimiento se encontraron patrones y otros elementos necesarios para la comprobación de los equipos críticos. Dichos patrones tienen establecido un periodo para ser enviados a calibración en laboratorios externos que pertenecen a la Red Metrológica Colombiana y por tanto se encuentran certificados por la Superintendencia de Industria y Comercio, garantizando así la trazabilidad de la medida a patrones nacionales y a su vez a los internacionales.

1.1.1. Longitud. Dentro de los equipos medidores de longitud se tienen cintas métricas y Vernier, los cuales eran comprobados con los elementos que se describen a continuación.

Para cintas métricas se utilizaba un banco comparador de Longitudes (Figura 1) con capacidad de 5.000 mm, que permite condiciones de planitud y paralelismo y cuenta con un dispositivo móvil de aumento óptico para obtener una mejor resolución. El equipo patrón utilizado era un flexómetro clase II, de 5.000 mm de longitud y división de escala de 1 mm.



Figura 1. Banco comparador de longitudes

Los Vernier se comprobaban utilizando tres bloques patrón de espesor grado 1 en acero inoxidable, de longitudes 2,5 mm, 12,5 mm y 25 mm (Figura 2).

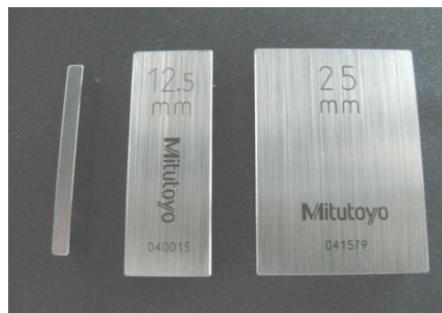


Figura 2. Bloques patrón de espesor

1.1.2. Presión. La comprobación de manómetros se realizaba con tres manómetros patrón de tubo bourdon (Tabla 1) en un banco comparador de pistón de rango 0 psi a 10.000 psi, cuyo funcionamiento se basa en generar presión al aceite dentro del tanque por medio de un pistón sujeto a un tornillo sin fin y que puede ser girado con un timón, transmitiendo la presión a dos conexiones NPT (National Pipe Thread) de 1/2", 1/4", 3/8" ó 1/8" dispuestas para conectar el manómetro patrón y el equipo a evaluar (Figura 3).

Tabla 1. Principales características de los manómetros patrón

	Manómetro 1	Manómetro 2	Manómetro 3
Clase (%)	0,25	0,25	0,25
Rango (psi)	1.000	3.000	5.000
División de Escala (psi)	5	20	50
Resolución (psi)	2,5	5	25



Figura 3. Banco comparador de presiones

Estos elementos eran utilizados para la comprobación de los diferentes manómetros de trabajo en planta de clases 1,0%, 1,6% y 2,5%, con un rango máximo hasta de 5.000 psi y división de escala no menor a 5 psi.

1.1.3. Temperatura. Como patrón se contaba con un termómetro bimetálico con capacidad máxima de 250 °C y división de escala de 5 °C, así como un Baño Térmico (Tabla 2) diseñado y construido en ICOBANDAS S.A. con el apoyo de dos estudiantes de Ingeniería Física de la Universidad del Cauca [2] como se observa en la Figura 4.

Tabla 2. Principales características del baño térmico

Rango de operación	18 °C a 199,9 °C
Conexiones para los termómetros	3 conexiones hembra de ¼ in
Líquido del baño	Aceite térmico Shell Thermia B
Punto de inflamación	220 °C
Punto de ebullición	355 °C

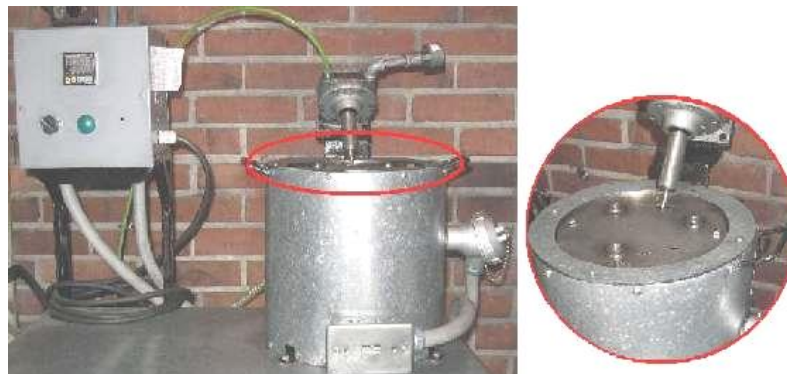


Figura 4. Baño térmico

Con estos elementos se comprobaban los termómetros bimetálicos críticos en puntos definidos con base a su rango de trabajo. Sin embargo, dos termómetros basados en termocupla que no podían ser comprobadas internamente por ser equipos digitales y tener características mejores que las del patrón existente, debían ser enviados a calibración.

1.2 DOCUMENTACIÓN

La documentación existente en el laboratorio que contiene información útil para el desarrollo de este trabajo corresponde a los instructivos de uso y manejo de balanzas electrónicas [3][4][5], cuentametros [6], decámetros [7], flexómetros [8], manómetros [9], micrómetros [10], nivel de precisión [11], Vernier [12], tensiómetro electrónico [13], tensiómetro hidráulico [14], termómetro con termocupla [15] y termómetro bimetálico [16]; y los procedimientos de comprobación para balanzas electrónicas [17], cuentametros [18], decámetros [19], flexómetros [20], manómetros [21], Vernier [22], tensiómetro hidráulico [23] y termómetro bimetálico [24].

A partir de dicha información fue posible identificar el funcionamiento básico de los equipos a los que se les elaboró un procedimiento de calibración y sus especificaciones técnicas, así como el registro del comportamiento de los mismos y los resultados obtenidos en los procedimientos de comprobación a los que se habían sometido, según la programación de metrología establecida para ellos.

CAPÍTULO II. EQUIPOS MEDIDORES DE LONGITUD, PRESIÓN Y TEMPERATURA

2.1. LONGITUD [25]

La longitud es la magnitud que expresa la distancia entre dos puntos o cada una de las dimensiones de un cuerpo. La unidad de longitud en el Sistema Internacional (S.I.) es el metro, definido como la longitud del trayecto recorrido por la luz en el vacío durante un intervalo de tiempo de $1/299\,792\,458$ de un segundo.

En ICOBANDAS S.A. las medidas longitudinales son de gran importancia por que hacen parte de las especificaciones indicadas por los clientes, razón por la cual los medidores utilizados (cintas métricas y Vernier) deben ser evaluados continuamente para garantizar el cumplimiento de dichas especificaciones.

2.1.1. Cintas métricas. Las cintas métricas (Figura 5a) llevan marcada la longitud del metro y sus divisiones hasta los milímetros y sirve para medir longitudes. De acuerdo con la norma NTC 1724 [26], los flexómetros son cintas métricas de corta longitud porque el valor máximo de su escala es de 8.000 mm, mientras los decímetros son cintas métricas de gran longitud porque su rango se encuentra entre 8.000 mm y 30.000 mm.

2.1.2. Vernier. Este equipo también conocido como pie de rey (Figura 5b), permite hacer medidas de longitud internas, externas y de profundidad. El material con que se construye generalmente es el acero inoxidable (invar), que posee una gran resistencia a la deformabilidad y al desgaste.

El Vernier posee un nonio que permite efectuar medidas con aproximaciones inferiores al milímetro. La graduación señalada en el cuerpo del calibre, y entre marcas, representa un milímetro.

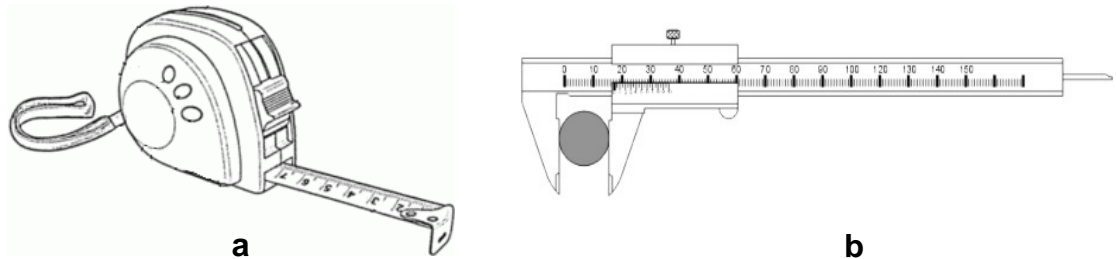


Figura 5. Equipos medidores de longitud: **a.** Cinta métrica. **b.** Vernier

2.2. PRESIÓN [27]

La presión se define como la fuerza normal a una superficie, ejercida por unidad de área. En la termodinámica clásica se consideran presiones que existen sobre áreas grandes respecto a los espacios intermoleculares, porque no se estudian los efectos que puedan presentarse a escala microscópica.

Con frecuencia, en trabajos de ingeniería, la presión se mide respecto a la presión atmosférica, más que con referencia al vacío absoluto. La primera, o presión manométrica (gauge), se relaciona con la presión atmosférica por:

$$P_{\text{man}} = P_{\text{abs}} - P_{\text{atm}} \quad (1)$$

La presión puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (libras por pulgada cuadrada). En el Sistema Internacional (S.I) está normalizada en pascal, que equivale a 1 newton por metro cuadrado (1 N/m^2), siendo el newton la fuerza que aplicada a un cuerpo de masa 1 Kg, le comunica una aceleración de 1 m/s^2 .

2.2.1. Manómetros [28]. Los instrumentos de presión se clasifican en cuatro grupos: mecánicos, neumáticos, electromecánicos y electrónicos (Figura 6).

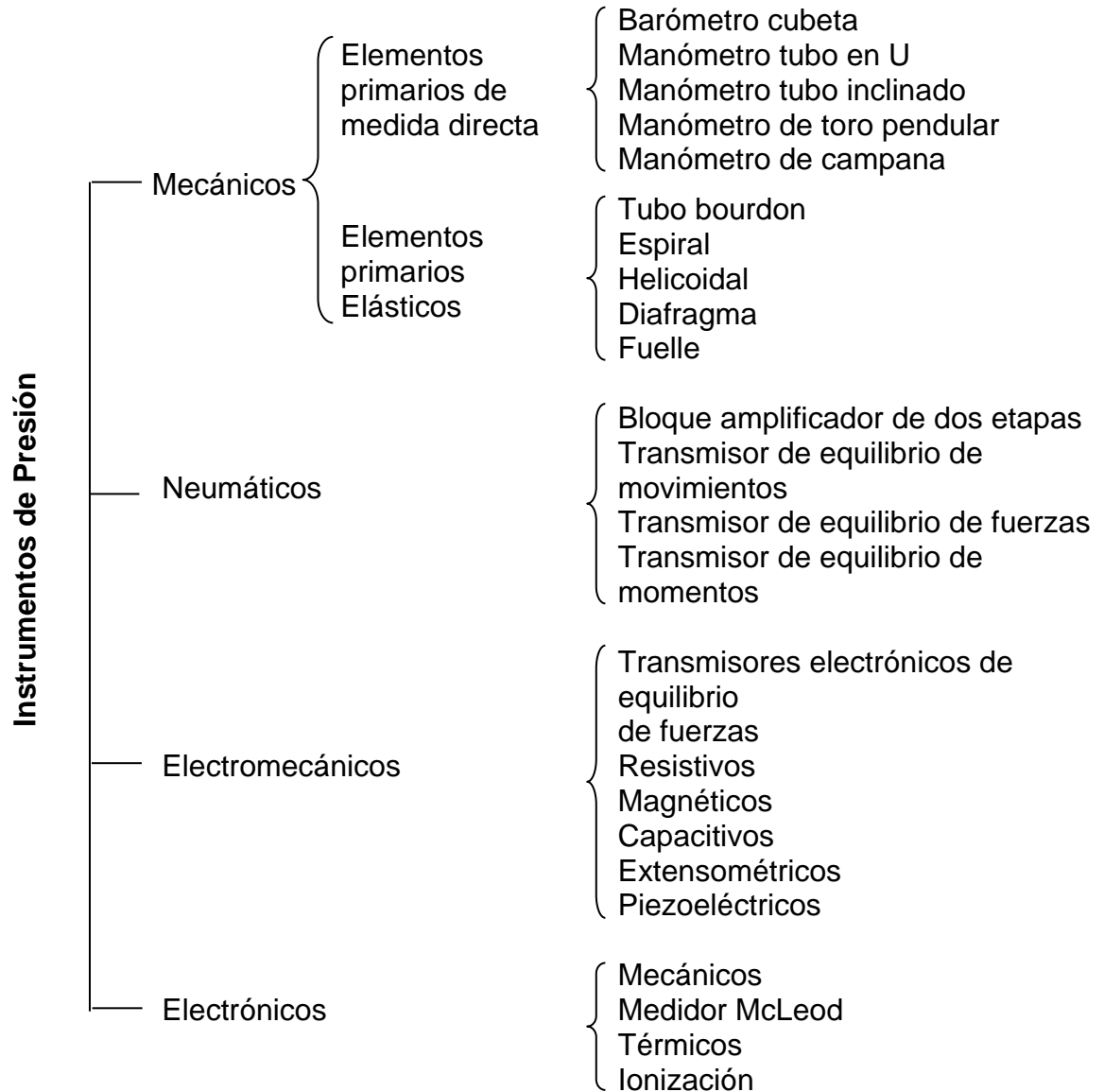


Figura 6. Instrumentos medidores de presión

En ICOBANDAS S.A. el proceso de vulcanización en las prensas requiere una supervisión exigente de la presión, ya que de ella depende en gran parte la buena

adhesión de la banda y por tanto la calidad del producto. Esta variable se monitorea con manómetros de tubo bourdon.

El tubo bourdon (Figura 7) consiste en una sección elíptica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo. Al aumentar la presión en su interior, el tubo tiende a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora, por un sector dentado y un piñón. La ley de deformación del tubo Bourdon es bastante compleja y ha sido determinada empíricamente a través de numerosas observaciones y ensayos en varios tubos.

Los materiales empleados normalmente en el tubo Bourdon son el acero inoxidable, aleación de cobre o aleaciones especiales como hastelloy y monel.

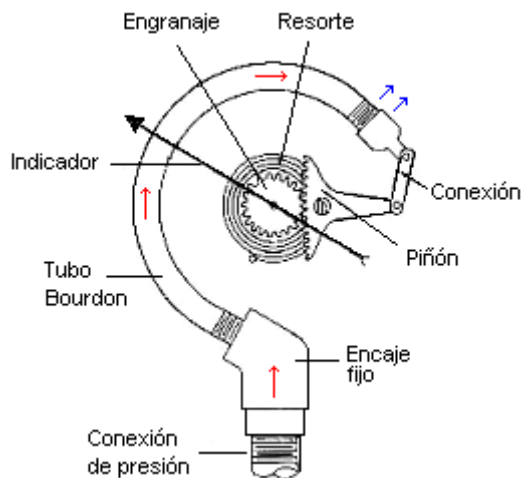


Figura 7. Tubo Bourdon.

2.3. TEMPERATURA [29]

La temperatura es una medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia que depende del nivel de agitación de las mismas.

Los átomos y moléculas no siempre se mueven a la misma velocidad, esto significa que hay un rango de energía entre ellas. Cuando las moléculas colisionan entre si, aquellas con mayor velocidad transfieren parte de su energía a las moléculas de menor velocidad, de manera que si se aumenta la energía en el sistema su velocidad media se incrementa produciendo energía térmica o calor. Por lo tanto, al medir la temperatura, lo que se está midiendo es la energía del movimiento medio de las moléculas, siendo así la temperatura una propiedad intensiva puesto que no depende de la masa.

2.3.1. Termómetros [30]. Los instrumentos para medir temperatura utilizan diversos fenómenos dentro de los cuales figuran: dilatación térmica; efecto termorresistivo en un conductor o en un semiconductor; fuerza electromotriz creada en la unión de dos metales distintos; intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo; otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia en un cristal, etc.)

De este modo se emplean los siguientes instrumentos: termómetros de vidrio, termómetros bimetalicos, elementos primarios de bulbo y capilar rellenos de líquido, gas o vapor, termopares, pirómetros de radiación, termómetros de resistencia, termómetros ultrasónicos, termómetros de cristal de cuarzo.

La temperatura en el proceso productivo de ICOBANDAS S.A. define el tiempo de exposición de las materias primas utilizadas en la fabricación de las bandas y debe ser controlada para garantizar las propiedades requeridas en el producto final. Su medición se realiza con termómetros bimetalicos en las prensas de vulcanización y con termómetros basados en termopares tipo J en el tratamiento del caucho y la lona.

Los termómetros bimetalicos se fundan en el distinto coeficiente de dilatación de dos metales diferentes, tales como latón, monel o acero y una aleación de ferro-

níquel o Invar (35,5% de níquel) laminados conjuntamente. Las láminas bimetálicas pueden ser rectas o curvas, formando espirales o hélices (Figura 8)

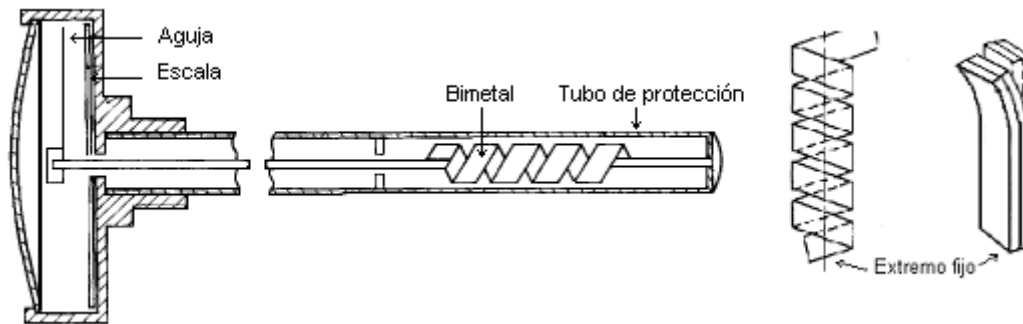


Figura 8. Termómetro bimetalico.

Un termómetro bimetalico típico contiene pocas partes móviles, sólo la aguja indicadora sujeta al extremo libre de la espiral o de la hélice y el propio elemento bimetalico. El eje y el elemento están sostenidos con cojinetes y el conjunto está construido con precisión para evitar rozamientos. No hay engranajes que exijan un mantenimiento.

Por otra parte, el termopar tipo J es un instrumento conformado por la unión de un trozo de hierro y otro de constantán. Su principio de funcionamiento se basa en el efecto descubierto por Seebeck en 1821, de la circulación de una corriente en un circuito formado por dos metales diferentes cuyas uniones (unión de medida o caliente y unión de referencia o fría) se mantienen a distinta temperatura (Figura 9).

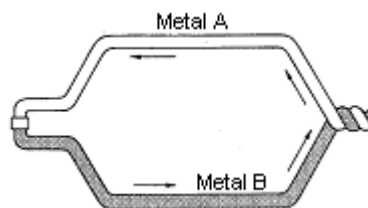


Figura 9. Termopar

Esta circulación de corriente se debe a la liberación o absorción de calor en la unión de dos metales distintos cuando una corriente circula a través de la unión y a la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperaturas.

Otro dispositivo para medir temperatura es el termómetro basado en dispositivos termo-resistivos (RTD) [27]. La medida de temperatura utilizando sondas de resistencia depende de las características de resistencia en función de la temperatura que son propias del elemento de detección.

El elemento consiste usualmente en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio y cerámica.

El material que forma el conductor se caracteriza por el llamado “coeficiente de temperatura de resistencia” que expresa a una temperatura especificada, la variación de la resistencia en ohmios del conductor por cada grado que cambia su temperatura y debe poseer las siguientes características:

- Alto coeficiente de temperatura, ya que de este modo el instrumento de medida será muy sensible.
- Alta resistividad, ya que cuanto mayor sea la resistencia a una temperatura dada tanto mayor será la variación por grado (mayor sensibilidad)
- Relación lineal resistencia – temperatura
- Rigidez y ductilidad, lo que permite realizar los procesos de fabricación de estirado y arrollamiento del conductor en las bobinas de la sonda, a fin de obtener tamaños pequeños (rapidez de respuesta)
- Estabilidad de las características durante la vida útil del material

En las mediciones de temperatura para la industria, el platino es el material más adecuado desde el punto de vista de precisión y estabilidad. El níquel posee una resistencia más elevada, sin embargo, tiene como desventaja una mayor alinealidad en su relación resistencia – temperatura. El cobre tiene una variación de resistencia uniforme, es estable pero tiene el inconveniente de su baja resistividad (Figura 10).

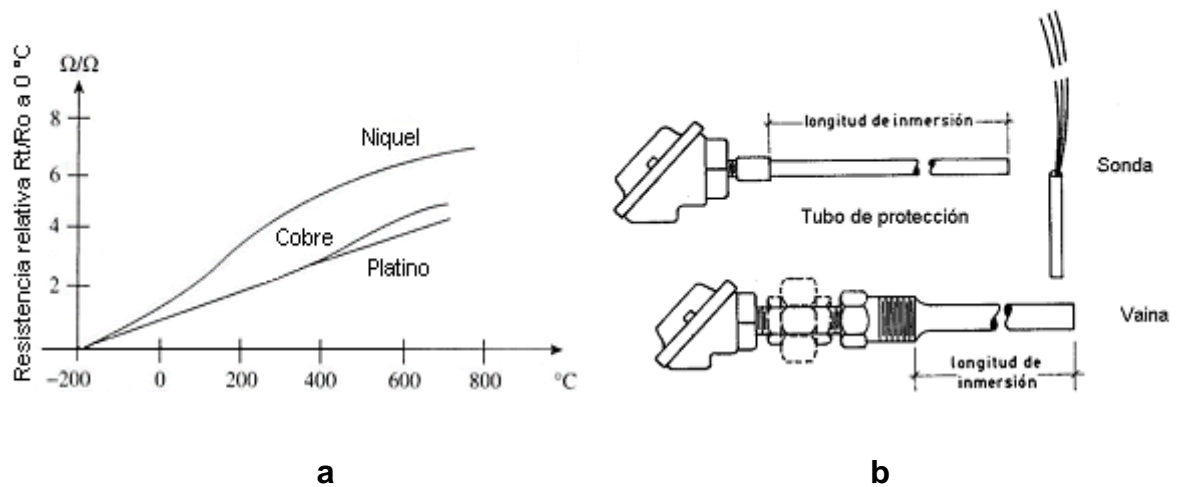


Figura 10. Sonda de resistencia **a.** Curvas de resistencia relativa de varios metales en función de la temperatura. **b.** Partes de la sonda

Para una resistencia de platino, la relación entre la variación de la resistencia con la temperatura para un rango determinado por el fabricante, se establece de manera aproximada mediante la expresión siguiente:

$$R_t \approx R_o(1 + \alpha T)$$

en la que: R_o = resistencia en ohmios a 0 °C

R_t = resistencia en ohmios a T en °C

α = coeficiente térmico de la resistencia del material

CAPÍTULO III. MÉTODOS DE CALIBRACIÓN Y CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE

3.1. MÉTODOS DE CALIBRACIÓN [31]

La calibración puede llevarse a cabo a través de diferentes métodos los cuales pueden dividirse en dos grandes bloques: directos e indirectos.

Los procesos directos son aquellos en los que el valor conocido o generado se expresa en la misma magnitud que mide el equipo. La relación entre este valor conocido o generado y el valor del instrumento de medida, suele expresarse como una diferencia denominada corrección. En los indirectos, el equipo o instrumento de medida mide una magnitud que no coincide con la del patrón o material de referencia certificado.

Sin embargo, tanto en la calibración directa como indirecta, se pueden realizar diversas clasificaciones de métodos, dentro de los cuales se encuentran:

3.1.1. Comparación directa con un patrón. Este es el método más simple y surge a partir de la definición de calibración. En este método se comparan los valores proporcionados por el equipo o instrumento de medida al medir uno o varios patrones de los que conocemos sus valores de las magnitudes deseadas.

3.1.2. Método de reproducción de la definición de la magnitud. Se reproduce la magnitud que mide el equipo o instrumento de medida a través de patrones apropiados en los que se calculan los valores de la magnitud deseada a través de los valores de otras magnitudes. Por ejemplo, calibración de volúmenes mediante pesada y utilización de la densidad.

3.2. CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE

La incertidumbre [32] es el parámetro asociado con el resultado de una medición que caracteriza a la dispersión de los valores que en forma razonable se le podrían atribuir a la magnitud por medir.

Este parámetro puede ser una desviación estándar (ó un múltiplo dado de ella) o la semi-longitud de un intervalo que tenga un nivel de confianza determinado.

Se entiende entonces que el resultado de una medición es el mejor estimado del valor del mensurando, considerándose todas las componentes de la incertidumbre, incluyendo aquellas que surgen de efectos sistemáticos (los cuales deben ser corregidos en lo posible) tales como componentes asociados a las correcciones y a los patrones de referencia.

Las posibles fuentes de incertidumbre son:

- Definición incompleta del mensurando.
- Muestreos no representativos.
- Conocimiento inadecuado de los efectos de las condiciones ambientales.
- Errores de apreciación del operador de la lectura en instrumento análogo.
- Resolución finita del instrumento.
- Valores inexactos de los patrones de medición y materiales de referencia.
- Valores inexactos de las constantes y otros parámetros obtenidos de fuentes externas.
- Aproximaciones y suposiciones incorporadas en los métodos y procedimientos.
- Variación en las observaciones repetidas del mensurando en condiciones reales.

3.2.1. Evaluación tipo A de la incertidumbre estándar. La incertidumbre tipo A se relaciona con fuentes de error aleatorios, y puede ser calculada estadísticamente sobre series de mediciones, por desviaciones estándar experimentales que se representan de la siguiente manera:

$$u = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

donde: X_i : Valor medido
 \bar{X} : Valor promedio
 n : Número de datos
 u : Incertidumbre estándar

3.2.1.1. Distribución normal. Es la distribución media o promedio de las características de una población, cuya gráfica produce una figura tipo acampanada. En un conjunto de lecturas, en ocasiones es más probable que los valores estén cerca del promedio a que estén alejados. La curva normal es una distribución continua de frecuencia y de rango infinito.

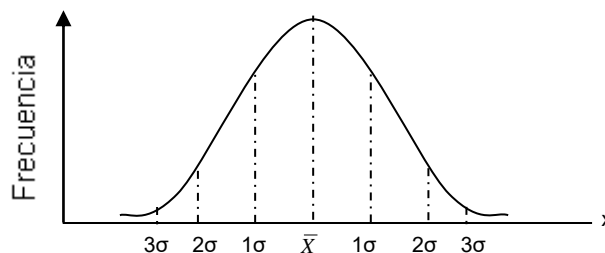


Figura 11. Distribución Normal

Para una distribución Gaussiana el área incluida dentro del intervalo $\bar{X} \pm \sigma$ es de 68%, dentro del intervalo $\bar{X} \pm 2\sigma$ es de 95% y dentro del intervalo $\bar{X} \pm 3\sigma$ de 99,7%.

3.2.2. Evaluación tipo B de la incertidumbre estándar. La incertidumbre tipo B no se determina por el análisis estadístico de una serie de mediciones y está asociada a los errores del tipo sistemático; esto es, se estiman a partir de datos del fabricante del instrumento, especificaciones, certificados de calibración, y en general, de datos subjetivos. Cuando la información es escasa, para algunos tipos de errores sistemáticos se pueden estimar los límites superior e inferior de la incertidumbre usando distribuciones estadísticas como la rectangular y la triangular.

3.2.2.1. Distribución rectangular. El utilizar esta distribución implica que los valores de las magnitudes medidas al realizar una serie de mediciones, se mantendrán siempre dentro de un intervalo definido. Cualquier valor es igualmente probable, pero nulo fuera de él. En la práctica el intervalo de valores ($2a$) se supone conocido.

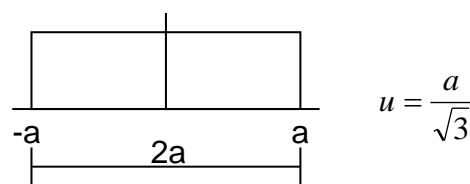


Figura 12. Distribución Rectangular

3.2.2.2. Distribución triangular. La característica principal de esta distribución radica en que en el centro del intervalo, la probabilidad de obtener el resultado es máxima y disminuye gradualmente a cero hacia los extremos del mismo.

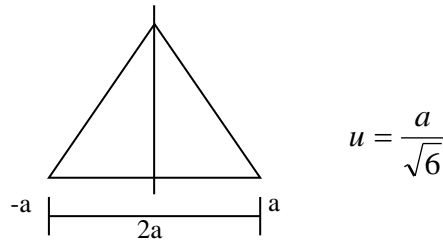


Figura 13. Distribución Triangular

3.2.3. Determinación de la función. Dentro de la calibración se pretende determinar el error del instrumento de medición, por tanto se debe definir la función en términos del error E .

$$E = \bar{X} - P \quad (3)$$

donde: \bar{X} : Promedio de las n indicaciones del instrumento
 P : Valor del patrón

El promedio de indicaciones del instrumento \bar{X} , así como también la medición del patrón P , adolecen de errores casi imposibles de evitar debido a diferentes factores que obligan a considerar la introducción de un elemento ΔE , con lo cual es posible tener un mejor estimado del error E . De acuerdo con lo anterior, la ecuación (3) se puede reformular de la siguiente manera:

$$E = \bar{X} - P + \Delta E \quad (4)$$

El término ΔE en la calibración de los equipos medidores de longitud, presión y temperatura de ICOBANDAS S.A. en general está constituido por las fuentes de variación presentadas en la Tabla 3.

Tabla 3. Fuentes de variación en la calibración de los equipos

Origen		Fuente	Símb.
Asociadas al patrón		Incertidumbre de calibración	U_p
		Resolución	R_p
		Variaciones por temperatura	T_p
		La estabilidad	Est_p
Asociadas al instrumento objeto de evaluación		Resolución del instrumento	R_I
		Repetibilidad o dispersión de las n indicaciones x_i del instrumento	\bar{X}
Asociadas al montaje de calibración	Cintas métricas Vernier	Desviación de la temperatura del sistema Patrón – Instrumento respecto de la temperatura de referencia	δ_T
	Manómetros Termómetros	Diferencia entre las temperaturas del instrumento y el patrón	∇_T
	Manómetros	Variación de la densidad del fluido	ρ
		Variación de la gravedad	g
		Diferencia de altura entre las columnas del fluido	Δh
	Termómetros	Homogeneidad térmica del aceite	δ_H

Estas fuentes de variación se tendrán en cuenta en el desarrollo del cálculo de la incertidumbre de la calibración para cada caso, exceptuando la desviación de la temperatura del sistema patrón–instrumento respecto de la temperatura de referencia (20 °C), la variación del patrón por efectos de la temperatura y la diferencia de las temperaturas entre el instrumento y el patrón.

Esto se debe a que en la calibración de termómetros no aplican y para cintas métricas, Vernier y manómetros se corrigen porque el procedimiento se desarrolla bajo condiciones ambientales controladas y se garantiza un equilibrio térmico del sistema haciendo el montaje con un tiempo de anticipación a la prueba.

3.2.4. Incertidumbre estándar combinada. De la guía GTC 51 [33] se tiene que la incertidumbre estándar combinada de Y esta dada por la expresión:

$$U_c^2(Y) = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) \quad (5)$$

donde: U_c : Incertidumbre estándar combinada
 f : Función a medir
 x_i : Variables de la función f
 u_i : Incertidumbre estándar de cada variable

Finalmente se tiene:

$$U_c^2(Y) = \sum_{i=1}^n [c_i u(x_i)]^2 \equiv \sum_{i=1}^n u_i^2(Y) \quad (6)$$

Las derivadas parciales de $\partial f / \partial x_i$ son los coeficientes de sensibilidad c_i que permiten en primer lugar dejar todos los términos de incertidumbre en las mismas unidades de medición. Además permite categorizar el peso de cada elemento en la incertidumbre de la medición.

3.2.5. Incertidumbre expandida. Una vez determinada la incertidumbre estándar combinada, es posible que se quiera reescalar el resultado. Se puede pensar que la incertidumbre estándar combinada es equivalente a una desviación estándar, pero tal vez se quiere tener una incertidumbre total establecida en otro nivel de confianza, por ejemplo 95%. Esta reescala se logra usando un factor de cobertura k , multiplicándolo por U_c y obteniendo así la incertidumbre estándar expandida.

$$U = \pm kU_c \quad (7)$$

Un valor del factor de cobertura suministra un nivel de confianza particular para la incertidumbre estándar expandida. Comúnmente la incertidumbre total se escala mediante un factor de cobertura $k=2$ para un nivel de confianza del 95% (esto es correcto si la incertidumbre estándar combinada tiene distribución normal). Algunos otros factores de cobertura para una distribución normal son: $k=1$, para un nivel de confianza aproximado del 68%; $k=3$, para un nivel de confianza aproximado del 99,7%. Otras formas menos comunes de distribución tienen diferentes factores de cobertura.

CAPÍTULO IV. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE LONGITUD

Los equipos medidores de longitud de ICOBANDAS S.A. además de presentar desgaste por el uso, son sometidos continuamente a choques térmicos, en especial cuando algunas de las medidas son llevadas a cabo en las prensas de vulcanización, donde la temperatura alcanza los 151 °C. Por esta razón la empresa ha establecido un periodo trimestral para la evaluación metrológica de los mismos, aplicando los procedimientos elaborados a partir de este trabajo.

4.1. CINTAS MÉTRICAS

Para definir el procedimiento de calibración de las cintas métricas se consultó la norma NTC 1724 [26] y el documento de la pasantía en mediciones longitudinales [34], con las cuales fue posible definir que el flexómetro patrón utilizado para la comprobación de las cintas debía ser reemplazado por una regla patrón de 1.000 mm, clase I con resolución de 0,5 mm, con el fin de que sus características superaran las de los equipos a calibrar.

Dado que en la empresa existe un banco comparador de longitudes, se contó con él para implementar el Método de Comparación Directa y llevar a cabo la calibración en un montaje como se muestra en la Figura 14.

Teniendo en cuenta el rango de trabajo de las cintas, se establecieron diferentes puntos de calibración, donde el error es acumulativo para puntos mayores a la longitud del patrón.

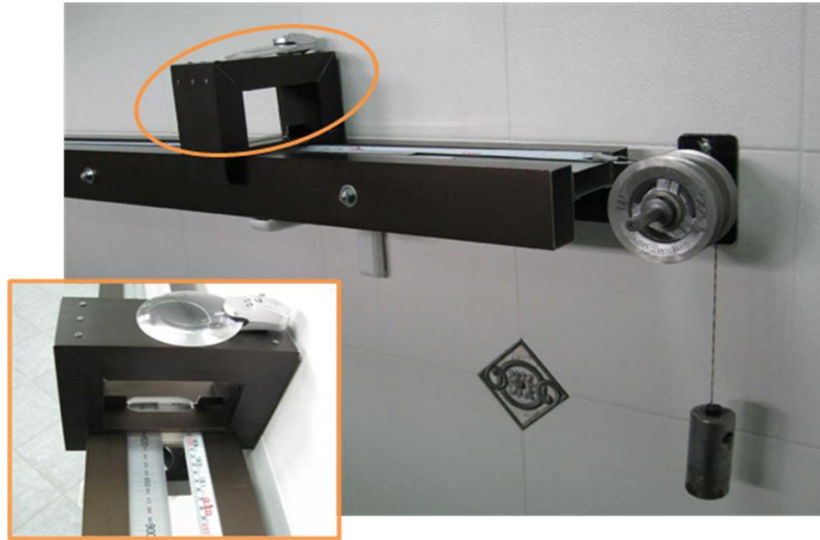


Figura 14. Montaje para calibración de cintas métricas

Los criterios de aceptación están basados en las tolerancias de la medición establecidas por el Departamento de Producción para cada cinta [35][36] a partir de las cuales fue posible definir la clase y el error máximo permisible en su calibración según la recomendación internacional OIML R35 [37], de manera que el error encontrado debe ser siempre menor que dicha tolerancia.

Igualmente, se desarrolló un procedimiento para el cálculo de la incertidumbre de la calibración de cintas métricas, partiendo de las fuentes de variación identificadas en el capítulo anterior, donde no se consideran para el término ΔE de la ecuación (4), las fuentes ya descartadas y la estabilidad del patrón que no aplica por tratarse de una medida directa sobre una magnitud materializada. Para este caso la función de error se expresa así:

$$E = \bar{X} - P + (U_p + R_p + R_l) \quad (8)$$

Y la incertidumbre estándar combinada aplicando la ecuación (6) es:

$$U_c^2(E) = C_1^2 u_1^2(U_p) + C_2^2 u_2^2(R_p) + C_3^2 u_3^2(\bar{X}) + C_4^2 u_4^2(R_I) \quad (9)$$

Donde la definición de cada término se observa en la Tabla 4.

De este modo, la incertidumbre estándar combinada multiplicada por un factor de cobertura $k=2$ para un nivel de confianza de 95%, es:

$$U = 2 \times \sqrt{\left(\frac{U_{\text{Certificado}}}{k}\right)^2 + \left(\frac{R_p}{2 \times \sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(\frac{R_I}{2 \times \sqrt{3}}\right)^2} \quad (10)$$

Tabla 4. Incertidumbre de la calibración de cintas métricas y Vernier

Nombre de la variable (xi)	Coficiente de sensibilidad (Ci)	U _i	Observaciones
Incertidumbre de calibración del patrón	$\left \frac{\partial E}{\partial U_p} \right = 1$	$\frac{U_{\text{Certificado}}}{k}$	Distribución Normal. k : Indicado en el certificado de calibración del patrón.
Resolución del patrón	$\left \frac{\partial E}{\partial R_p} \right = 1$	$\frac{R_p}{2 \times \sqrt{3}}$	Distribución Rectangular. R_p : Resolución del patrón.
Repetibilidad	$\left \frac{\partial E}{\partial \bar{X}} \right = 1$	$\frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$	Distribución Normal.
Resolución Instrumento	$\left \frac{\partial E}{\partial R_I} \right = 1$	$\frac{R_I}{2 \times \sqrt{3}}$	Distribución Rectangular. R_I : Resolución del instrumento.

Finalmente, con la definición de los elementos para la calibración, así como las condiciones ambientales y el cálculo de la incertidumbre, se elaboró el procedimiento de calibración de flexómetros y decímetros (ANEXO A).

4.2. VERNIER

La exactitud de un Vernier se debe principalmente a la exactitud de la graduación de sus escalas, el paralelismo y perpendicularidad de sus palpadores. Por esta razón se hace necesaria una continua evaluación que permita establecer el buen estado del equipo.

Siguiendo las recomendaciones de la norma NTC 4303 [38] y el documento de la pasantía en mediciones longitudinales [34], se decidió que para la calibración de los Vernier, era necesario adquirir tres bloques patrón de espesor grado 1 con longitudes de 0,5 mm; 50 mm y 100 mm, que junto con los existentes (Figura 15), permitieran evaluar el rango de los equipos en diez puntos definidos.



Figura 15. Montaje para calibración del Vernier

Partiendo de las tolerancias de la medición definidas en ICOBANDAS S.A. [39], se estableció que el error de linealidad en cada punto debe ser menor que $1/3$ del valor de dichas tolerancias.

Teniendo en cuenta que el procedimiento para el cálculo de la incertidumbre de la calibración desarrollado en cintas métricas aplica para mediciones longitudinales, las fuentes de variación son las mismas, exceptuando la contribución debida a la

resolución del patrón que no aplica para bloques de espesor, de tal manera que la incertidumbre estándar combinada se expresa así:

$$U_c^2(E) = C_1^2 u_1^2(U_p) + C_2^2 u_2^2(\bar{X}) + C_3^2 u_3^2(R_I) \quad (11)$$

Donde la definición de cada término se observa en la Tabla 4.

Por tanto, la incertidumbre estándar combinada multiplicada por un factor de cobertura $k=2$ para la calibración de los Vernier es:

$$U = 2 \times \sqrt{\left(\frac{U_{\text{Certificado}}}{k}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(\frac{R_I}{2 \times \sqrt{3}}\right)^2} \quad (12)$$

Una vez definidos los elementos y condiciones para la calibración, incluyendo el cálculo de la incertidumbre, se elaboró el procedimiento de calibración de Vernier.

CAPÍTULO V. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE PRESIÓN

5.1. MANÓMETROS

Los manómetros pueden sufrir daños en su apariencia y en su indicación, debido a factores como choques mecánicos, vibración, polvo y humedad. Es por ello que el Departamento de Mantenimiento de la empresa establece una evaluación bimestral de estos equipos.

Para implementar el procedimiento de calibración de los manómetros críticos de la empresa se tuvieron en cuenta las recomendaciones de la pasantía en presiones [40] y las normas NTC 1420 [41] y NTC 2263 [42], así como el procedimiento de comprobación existente [21].

Una vez estudiada la documentación mencionada, se estableció que los elementos disponibles para la comprobación de manómetros cumplían los requerimientos necesarios para la calibración de la mayoría de estos equipos. Para ello fue necesario verificar los siguientes aspectos: el rango total del equipo a calibrar debe estar entre la mitad y el total del rango del manómetro patrón, cuando éste es análogo; la clase del patrón debe ser por lo menos cuatro veces menor que la de los equipos a calibrar y la relación entre las tolerancias del patrón y del equipo debe ser mínimo dos.

Además, se determinó que la calibración se realizará en el punto mínimo de cada equipo y en cinco puntos más distribuidos en el 20%, 40%, 60%, 80% y 100% del rango total, donde los errores permitidos para cada manómetro según su clase, deben ser menores que las tolerancias en la medida previamente definidas [43].

Posteriormente, se desarrolló el procedimiento para el cálculo de la incertidumbre de la calibración de manómetros, con el método descrito en el Capítulo III.

Se considera la calibración de un manómetro de carátula, usando el Método de Comparación Directa con un manómetro patrón análogo, en un banco comparador de presiones, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 16. Montaje para calibración de manómetros

Considerando las fuentes de variación identificadas anteriormente, se descarta la diferencia de altura en las columnas, la variación de la densidad del fluido y la variación de la gravedad, relacionadas como se muestra en la ecuación (13), debido a que el montaje realizado presenta un $\Delta h = 0$ con lo cual se anula todo el término.

$$P = \rho g \Delta h \quad (13)$$

Igualmente, se descarta la estabilidad del patrón ya que los resultados de las pruebas indican que esta variación es despreciable frente a las demás fuentes.

De esta manera se obtiene la función de error:

$$E = \overline{X} - P + (U_p + R_p + R_l) \quad (14)$$

Y la incertidumbre estándar combinada para este caso es:

$$U_c^2(E) = C_1^2 u_1^2(U_p) + C_2^2 u_2^2(R_p) + C_3^2 u_3^2(\bar{X}) + C_4^2 u_4^2(R_I) \quad (15)$$

Encontrando la definición de estos términos en la Tabla 5.

De este modo la expresión de la incertidumbre estándar combinada, multiplicada por un factor de cobertura $k=2$ para un nivel de confianza de 95%, es:

$$U = 2 \times \sqrt{\left(\frac{U_{\text{Certificado}}}{k}\right)^2 + \left(\frac{\text{Re solución}_p}{2 \times \sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(\frac{\text{Re solución}_I}{2 \times \sqrt{3}}\right)^2} \quad (16)$$

Tabla 5. Incertidumbre de la calibración de manómetros

Nombre de la variable (x_i)	Coefficiente de sensibilidad (C_i)	U_i	Observaciones
Incertidumbre de calibración del patrón	$\left \frac{\partial E}{\partial U_p} \right = 1$	$\frac{U_{\text{Certificado}}}{k}$	Distribución Normal. k : Indicado en el certificado de calibración del patrón.
Resolución del patrón	$\left \frac{\partial E}{\partial R_p} \right = 1$	$\frac{\text{Re solución}_p}{2 \times \sqrt{3}}$	Distribución rectangular
Repetibilidad de x	$\left \frac{\partial E}{\partial \bar{X}} \right = 1$	$\frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$	Distribución Normal.
Resolución del instrumento a calibrar	$\left \frac{\partial E}{\partial R_I} \right = 1$	$\frac{\text{Re solución}_I}{2 \times \sqrt{3}}$	Distribución rectangular

A partir del desarrollo descrito anteriormente, se elaboró el procedimiento de calibración de manómetros.

CAPÍTULO VI. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE TEMPERATURA

6.1. TERMÓMETROS

Teniendo en cuenta las observaciones de la norma NTC 4476 [44], así como el procedimiento de comprobación existente [24], se implementó la calibración de termómetros, con el fin de evaluarlos y en lo posible corregir los errores causados por las agresiones del ambiente de trabajo.

Después de realizar el estudio pertinente, se determinó que el termómetro patrón no era adecuado ya que su división de escala es mayor que la de algunos equipos a calibrar y su principio de funcionamiento no permite obtener la estabilidad requerida.

Se buscó entonces, un patrón que cumpliera con los requisitos de estabilidad y exactitud adecuados, además de tener una resolución mejor que la de los equipos a calibrar y un rango mayor al máximo rango de trabajo de los mismos, razón por la cual se adquirió un termómetro de precisión, de rango $-199,99^{\circ}\text{C}$ a 850°C , resolución de $0,01^{\circ}\text{C}$ y la sonda RTD respectiva, con el cual se implementó la calibración interna de todos los termómetros críticos de trabajo en planta, incluyendo los dos termómetros basados en termocupla que se enviaban a laboratorios externos.

Por otra parte, se estableció que el baño térmico es adecuado realizar calibraciones cambiando el aceite empleado anteriormente por uno siliconado disponible en el mercado para el uso propuesto (Tabla 6).

Tabla 6. Ficha técnica Molysil 20.

1. Campos de aplicación	
En calibración.	En laboratorios para patronamiento y calibración de termómetros, viscosímetros y otros elementos.
2. Datos técnicos	
Color	Incoloro transparente
Base	Aceite de silicona del tipo polidimetilsiloxano
Densidad a 25°C	0,960 – 0,98 g/cm ³
Viscosidad a 25°C	15 – 25 cP
Punto de llama	300 °C
Punto de fluidez	- 55 °C
Índice de refracción	1,403
Tensión superficial	20,9 mN/m ²
Calor específico	1,46 kJ/kg entre 40 y 200 °C
Conductividad térmica	0,16 W/mK
Rigidez dieléctrica a 25 °C	8 kV/mm
Constante dieléctrica a 25 °C entre 0,5 y 100 kHz	2,8 según c 27 – 210 e ice 247
3. Comportamiento con el medio ambiente	
Toxicidad	Ninguna
Medio ambiente	No es inflamable a temperatura ambiente.

Una vez acondicionados los elementos necesarios para las calibraciones, se establecieron los puntos de evaluación de acuerdo con el rango de trabajo y se definió un límite de error de 2,5 °C (1/2 de la tolerancia de trabajo) [43][45][46].

Posteriormente, se desarrolló el modelo necesario para el cálculo de la incertidumbre considerando la calibración de un termómetro por el Método de

Comparación Directa con un termómetro patrón digital, en un baño térmico, como se muestra en la Figura 17.

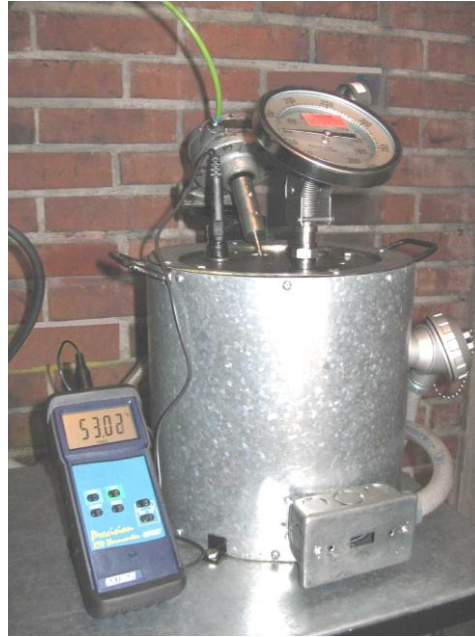


Figura 17. Montaje para la calibración de termómetros

En el término ΔE de la ecuación (4) no se consideran las fuentes de variación descartadas en el Capítulo III y el aporte al cálculo de la incertidumbre por la resolución del patrón no se tiene en cuenta ya que ésta ha sido estimada en la incertidumbre de calibración del mismo y es independiente del observador por tratarse de un equipo digital.

Igualmente, se estudió el comportamiento del aceite y el patrón estableciéndose respectivamente una homogeneidad y estabilidad elevadas, que superan las exigencias del proceso productivo de la empresa. El resultado de la homogeneidad se obtuvo al medir la temperatura para un valor fijo en diferentes puntos del aceite, donde el termómetro empleado no detectó ninguna diferencia. El análisis sobre la estabilidad se realizó midiendo la temperatura en un valor determinado en el cual el equipo patrón alcanzó un valor fijo en poco tiempo.

De acuerdo con lo anterior se tiene la siguiente función de error:

$$E = \bar{X} - P + (U_p + R_I) \quad (17)$$

En este caso la incertidumbre estándar combinada es:

$$U_c^2(E) = C_1^2 u_1^2(U_p) + C_2^2 u_2^2(\bar{X}) + C_3^2 u_3^2(R_I) \quad (18)$$

Donde la definición de cada término se observa en la Tabla 7.

La incertidumbre estándar combinada multiplicada por un factor de cobertura $k=2$ para un nivel de confianza de 95%, es:

$$U = 2 \times \sqrt{\left(\frac{U_{\text{Certificado}}}{k}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(\frac{R_I}{2 \times \sqrt{3}}\right)^2} \quad (19)$$

Tabla 7. Incertidumbre de la calibración de termómetros

Nombre de la variable (x_i)	Coficiente de sensibilidad (C_i)	U_i	Observaciones
Incertidumbre de calibración del patrón	$\left \frac{\partial E}{\partial U_p} \right = 1$	$\frac{U_{\text{Certificado}}}{k}$	Distribución Normal. k : Indicado en el certificado de calibración del patrón.
Repetibilidad de x	$\left \frac{\partial E}{\partial \bar{X}} \right = 1$	$\frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$	Distribución Normal.
Resolución Instrumento	$\left \frac{\partial E}{\partial R_I} \right = 1$	$\frac{R_I}{2 \times \sqrt{3}}$	Distribución Rectangular. R_I : Resolución del instrumento.

Con base a lo anterior, se elaboró el procedimiento de calibración respectivo.

CAPÍTULO VII. SOFTWARE DE CALIBRACIÓN

Teniendo en cuenta los procedimientos de calibración elaborados para cada equipo crítico, se desarrolló una herramienta software utilizando el editor de Visual Basic de Excel 97, con la cual se agiliza el registro del proceso y obtención de resultados, que permite al metrólogo realizar las evaluaciones en menor tiempo y con mayor confiabilidad, representando un ahorro de costos a la empresa.

El menú principal del software permite elegir el equipo sometido a calibración por medio de la identificación asignada en la empresa [47]. Una vez seleccionado, el programa lleva al usuario a un formato propio de cada tipo de medidor, donde se indican sus datos técnicos, el procedimiento y los equipos utilizados, así como los puntos en los que se evaluará.

Este formato dispone de otros espacios como la inspección visual donde el usuario describe la apariencia general del equipo; la ejecución que indica las fechas de la última, actual y próxima evaluación; las condiciones ambientales que deben registrarse en el lugar y momento de la prueba y las lecturas requeridas para la calibración.

Hecho el registro de los datos, el software le permite obtener los resultados que en general incluyen el error máximo y la incertidumbre, basándose en los criterios de aceptación definidos en los procedimientos desarrollados.

En el momento en que se desee imprimir, el programa muestra el protocolo (ANEXO B) y el certificado de calibración (ANEXO C) respectivos. La última evaluación queda almacenada y se puede acceder a ella con el código del equipo.

Adicionalmente, en el software se incluyeron balanzas electrónicas y cuentametros críticos a los que se les realizará calibración usando el procedimiento desarrollado en el Capítulo VIII. De igual forma, el programa permite la comprobación de flexómetros, manómetros, termómetros y Vernier no críticos, así como la comprobación de un tensiómetro crítico, de acuerdo con los procedimientos de comprobación mencionados en el Capítulo I.

Este software incluye un manual de usuario y de acuerdo con lo descrito anteriormente, su funcionamiento se puede observar en los siguientes diagramas.

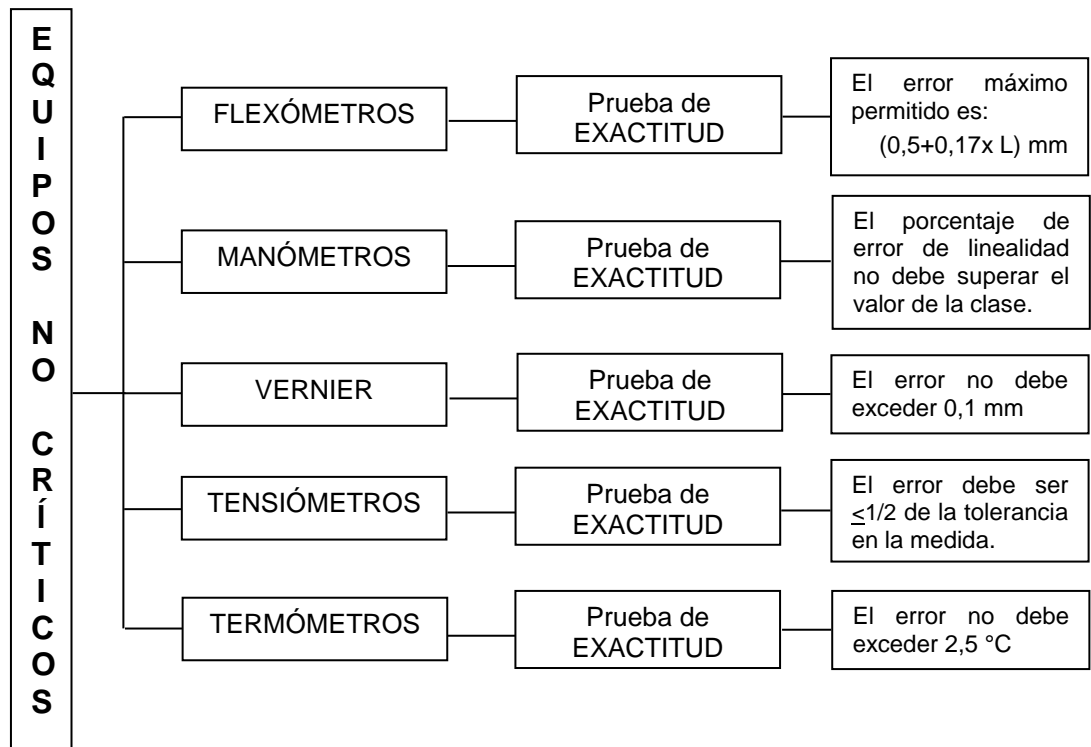


Figura 18. Diagrama de comprobación de equipos no críticos.

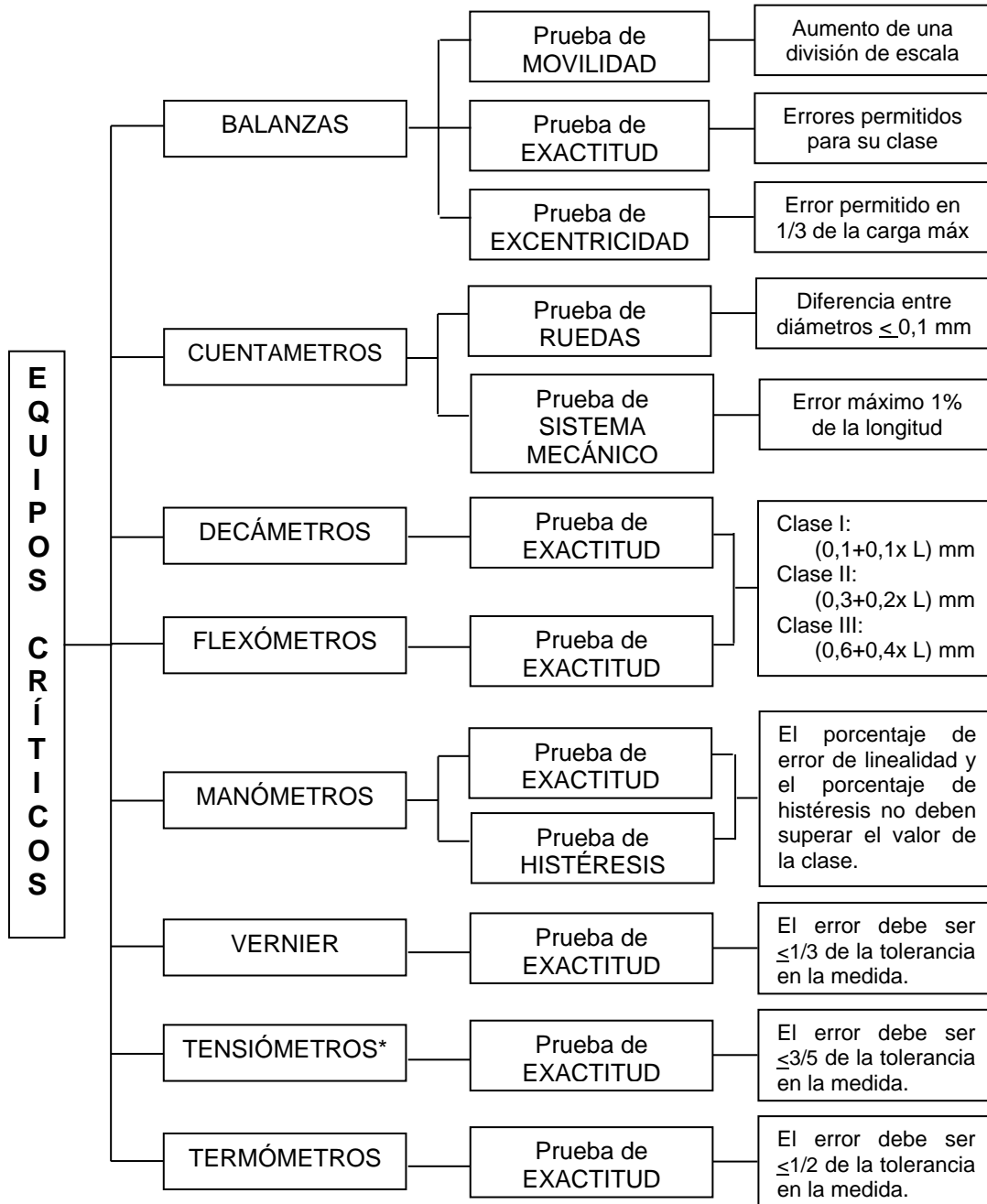


Figura 19. Diagrama de calibración de equipos críticos. (*) No tiene definido procedimiento de calibración.

A partir de los procedimientos descritos anteriormente se implementó la calibración de cintas métricas, manómetros, termómetros y Vernier, realizando las

diferentes pruebas que arrojaron resultados como los que se muestran a continuación.

Tabla 8. Pruebas de la calibración de equipos críticos

	Decímetros	Flexómetros	Manómetros	Termómetros	Vernier
Clase	I	I	1,0 %	No Aplica	No Aplica
Error Máximo	-1,50 mm	-0,30 mm	No Aplica	0,10 °C	0,03 mm
Incertidumbre	1,53 mm	1,16 mm	6,8 psi	1,44 °C	0,03 mm
% Error de linealidad Máximo	No Aplica	No Aplica	0,86 %	No Aplica	No Aplica
% Histéresis Máxima	No Aplica	No Aplica	0,17 %	No Aplica	No Aplica
Resultado Final	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa

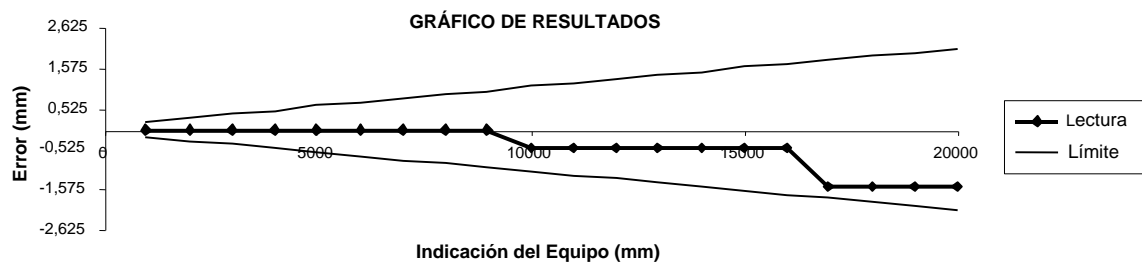


Figura 20. Prueba de calibración de decímetros

La Figura 20 corresponde a una prueba realizada con un decámetro de 20.000 mm de longitud y división de escala de 2 mm, evaluando la exactitud en cada metro de la cinta y tomando como límite el error máximo permitido para su clase según la OIML R35.

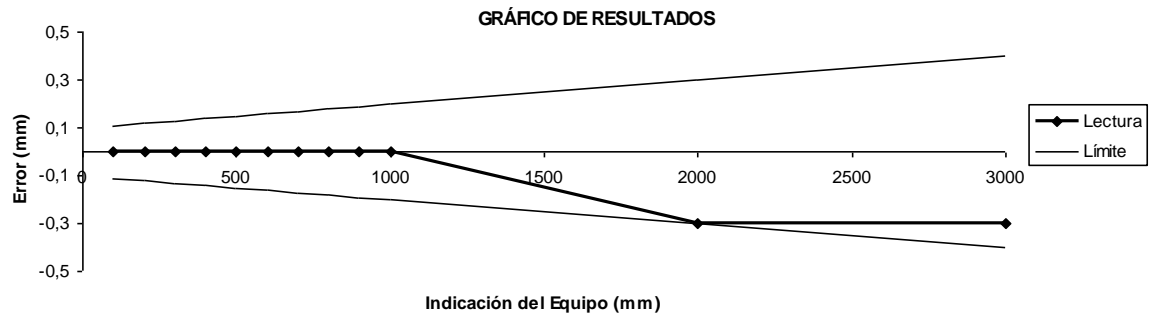


Figura 21. Prueba de calibración de flexómetros

En la Figura 21 se muestra la prueba de exactitud realizada con un flexómetro de 3.000 mm de longitud y división de escala de 1 mm, evaluando el primer metro cada 100 mm y metro a metro hasta cubrir el rango de la cinta. El error máximo permitido para su clase se toma según la OIML R35.

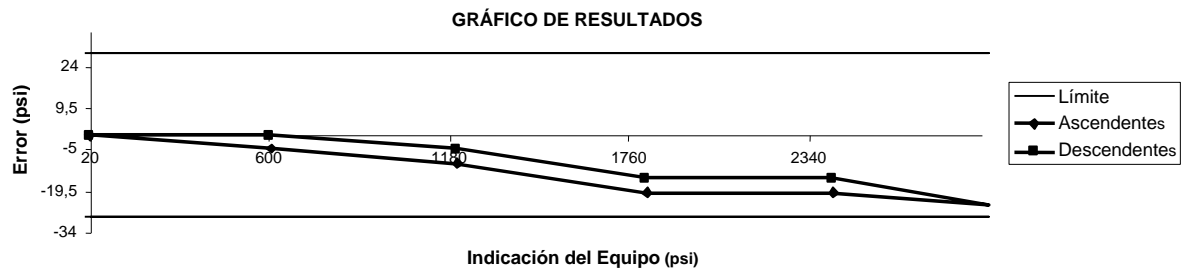


Figura 22. Prueba de calibración de manómetros

La prueba de exactitud que se le realizó a un manómetro clase 1%, con capacidad máxima de 3.000 psi y división de escala de 20 psi, se muestra en la Figura 22 cuyos puntos de evaluación están distribuidos en el 0%, 20%, 40%, 60%, 80% y 100% del rango del equipo y el error máximo permitido está dado por el 1% de dicho rango.

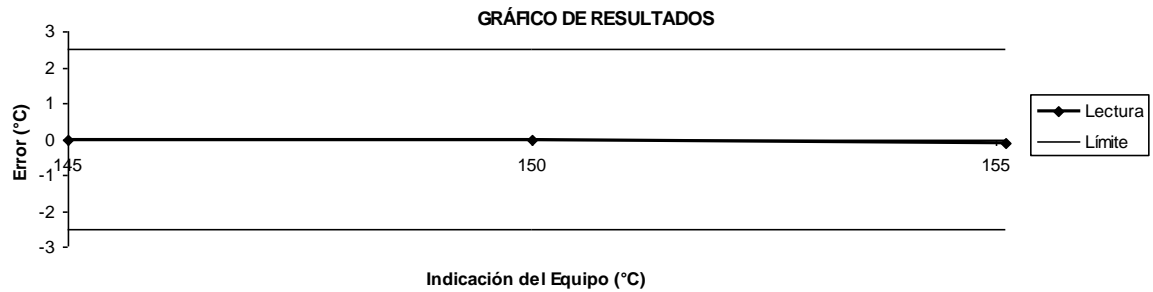


Figura 23. Prueba de calibración de termómetros

La Figura 23 presenta el comportamiento de un termómetro bimetálico utilizado para la prueba de calibración, con rango de 0 °C a 300 °C y división de escala de 5 °C, evaluado en 145 °C, 150 °C y 155 °C con lo cual se cubre el rango de trabajo del equipo. El error máximo permitido es $\pm 2,5$ °C que corresponde a $\frac{1}{2}$ de la tolerancia de trabajo.

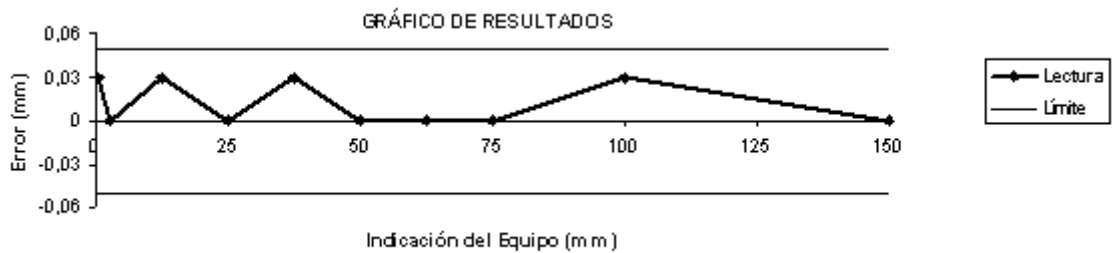


Figura 24. Prueba de calibración de Vernier

En la Figura 24 se enseña la desviación presentada por un calibrador tipo Vernier en la evaluación de las mordazas para la medición de exteriores, cuya capacidad máxima es 150 mm y su división de escala es 0,05 mm. Los puntos evaluados fueron 0,50 mm; 2,50 mm; 12,50 mm; 25,00 mm; 37,50 mm; 50,00 mm; 62,50 mm; 75,00 mm; 100,00 mm y 150,00 mm, donde se permite un error máximo de 0,05 mm que corresponde a $\frac{1}{4}$ de la tolerancia de trabajo.

CAPÍTULO VIII. OTROS PROCEDIMIENTOS DESARROLLADOS

El proceso productivo de ICOBANDAS S.A. requiere el uso de balanzas electrónicas en el pesaje de materias primas y de cuentametros en la medición de longitud de las lonas y producto terminado. Debido a que estos equipos también se encuentran clasificados como críticos, deben ser sometidos a un proceso de calibración como lo indica la norma ISO 9000. Por esta razón, aunque no estaba contemplado dentro de los objetivos de este trabajo, se elaboraron procedimientos de calibración para los equipos mencionados, con el fin de implementarlos mas adelante en la empresa.

8.1. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE BALANZAS ELECTRÓNICAS

Considerando las recomendaciones de la norma NTC 2031 [48], se elaboró el procedimiento de calibración de balanzas electrónicas existentes, con el cuál se evaluará el estado del equipo y el cumplimiento de los requerimiento establecidos por la empresa, en el momento en que se cuente con los elementos para su implementación.

Teniendo en cuenta la clase y el rango de trabajo de cada balanza, se definieron las pesas y clases de exactitud de las mismas, requeridas para llevar a cabo la calibración de estos equipos, para lo cual se recomienda la compra de cinco pesas patrón descritas en la Tabla 9, además de un juego de pesas patrón de 1 mg a 500 mg clase M1.

Tabla 9. Pesas patrón necesarias para la calibración de balanzas electrónicas

VALOR NOMINAL (g)	CLASE
0,02	M1
5	M1
20	F2
200	M1
5000	M1

Con los elementos mencionados y las pesas existentes en el laboratorio de metrología, será posible realizar las tres pruebas definidas para la calibración de las balanzas electrónicas: prueba de exactitud realizada en ocho puntos distribuidos en el rango de trabajo, prueba de excentricidad de carga y prueba de movilidad, evaluando el aumento en cada caso. El criterio de aceptación esta basado en los errores permitidos para la clase de la balanza.

Se realizó un modelo para el cálculo de la incertidumbre de la calibración de una balanza electrónica, usando el Método de Comparación Directa con pesas patrón, donde el término ΔE de la ecuación (4) no considera la contribución a la incertidumbre por la desviación de la temperatura del sistema patrón–instrumento respecto de la temperatura de referencia (20 °C) ni la variación del patrón por efectos de la temperatura porque la masa no varía con la temperatura. Además, la diferencia de las temperaturas entre el instrumento y el patrón se corrige haciendo el montaje con un tiempo de anticipación a la prueba para garantizar el equilibrio térmico y el aporte por la resolución del patrón no aplica para las pesas, de manera que la función de error es:

$$E = \bar{X} - P + (U_p + R_l) \quad (20)$$

Quedando la siguiente incertidumbre estándar combinada:

$$U_c^2(E) = C_1^2 u_1^2(U_p) + C_2^2 u_2^2(\bar{X}) + C_3^2 u_3^2(R_I) \quad (21)$$

Donde la definición de cada término se observa en la Tabla 10.

Tabla 10. Incertidumbre de la calibración de balanzas electrónicas

Nombre de la variable (x _i)	Coefficiente de sensibilidad (C _i)	U _i	Observaciones
Incertidumbre de calibración del patrón	$\left \frac{\partial E}{\partial U_p} \right = 1$	$\frac{U_{\text{Certificado}}}{k}$	Distribución Normal. k: Indicado en el certificado de calibración del patrón.
Repetibilidad de x	$\left \frac{\partial E}{\partial \bar{X}} \right = 1$	$\frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$	Distribución Normal.
Resolución Instrumento	$\left \frac{\partial E}{\partial R_I} \right = 1$	$\frac{R_I}{2 \times \sqrt{3}}$	Distribución Rectangular. R _I : Resolución del instrumento.

La incertidumbre estándar combinada multiplicada por un factor de cobertura k=2 para un nivel de confianza de 95%, es:

$$U = 2 \times \sqrt{\left(\frac{U_{\text{Certificado}}}{k} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} \right)^2 + \left(\frac{R_I}{2 \times \sqrt{3}} \right)^2} \quad (22)$$

Teniendo en cuenta las condiciones y elementos definidos previamente, así como el cálculo de la incertidumbre, se elaboró el procedimiento de calibración de balanzas electrónicas.

8.2. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE CUENTAMETROS

Considerando los cálculos desarrollados en una pasantía anterior para la construcción del verificador de cuentametros [2], se vio la necesidad de modificarlos de acuerdo con las exigencias actuales de la empresa y se elaboró el procedimiento de calibración de los cuentametros existentes, para una posterior implementación.

La calibración consta de dos etapas. En primer lugar se revisan los diámetros de las ruedas verificando que la diferencia entre ellos no supere los 0,1 mm, de lo contrario se deben buscar ruedas que cumplan con la anterior condición. La segunda etapa consiste en evaluar el sistema mecánico de los cuentametros usando el verificador, para lo cual se definieron seis longitudes distribuidas en el rango de trabajo, cerciorándose que el error no exceda el 1% de la longitud evaluada.

El modelo para el cálculo de la incertidumbre de la calibración de cuentametros, se basa en el desarrollo del Capítulo IV, usando el Método de Comparación Directa de los diámetros de las ruedas con un micrómetro patrón y el Método de Reproducción de la Definición de la Magnitud del sistema mecánico con el equipo verificador.

Las fuentes de variación que componen el término ΔE de la ecuación (4) se muestran en la siguiente función de error:

$$E = \bar{X} - P + (U_{MP} + R_{MP} + R_{VP} + R_I) \quad (23)$$

Donde la incertidumbre estándar combinada queda:

$$U_c^2(E) = C_1^2 u_1^2(U_{MP}) + C_2^2 u_2^2(R_{MP}) + C_3^2 u_3^2(R_{VP}) + C_4^2 u_4^2(\bar{X}) + C_5^2 u_5^2(R_I) \quad (24)$$

La definición de cada término de la ecuación anterior se observa en la Tabla 11.

Tabla 11. Incertidumbre de la calibración de cuentametros

Nombre de la variable (xi)	Coficiente de sensibilidad (Ci)	U _i	Observaciones
Incertidumbre de calibración del Micrómetro Patrón	$\left \frac{\partial E}{\partial U_{MP}} \right = 1$	$\frac{U_{MP}}{k_{Certificado}}$	Distribución Normal. $k_{Certificado}$: Indicado en el certificado de calibración del Micrómetro patrón.
Resolución del Micrómetro Patrón	$\left \frac{\partial E}{\partial R_{MP}} \right = 1$	$\frac{R_{MP}}{2 \times \sqrt{3}}$	Distribución Rectangular. R_{MP} : Resolución del Micrómetro patrón.
Resolución del Verificador de Cuentametros	$\left \frac{\partial E}{\partial R_{VP}} \right = 1$	$\frac{R_{VP}}{2 \times \sqrt{3}}$	Distribución Rectangular. $R_{VP} = \frac{D_M \times \pi}{200}$, donde R_{VP} : Resolución del Verificador D_M : Diámetro calculado
Repetibilidad de x	$\left \frac{\partial E}{\partial \bar{X}} \right = 1$	$\frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$	Distribución Normal.
Resolución Instrumento	$\left \frac{\partial E}{\partial R_I} \right = 1$	$\frac{R_I}{2 \times \sqrt{3}}$	Distribución Rectangular. R_I : Resolución del Cuentametros.

La incertidumbre estándar combinada multiplicada por un factor de cobertura k=2 para un nivel de confianza de 95%, es:

$$U = k \sqrt{\left(\frac{U_{MP}}{k_{Certificado}} \right)^2 + \left(\frac{R_{MP}}{2 \times \sqrt{3}} \right)^2 + \left(\frac{D_M \times \pi}{200 \times 2 \times \sqrt{3}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} \right)^2 + \left(\frac{R_I}{2 \times \sqrt{3}} \right)^2} \quad (25)$$

Por último, se elaboró el procedimiento de calibración de cuentametros.

CONCLUSIONES

Una vez actualizado el inventario de equipos críticos de trabajo medidores de longitud, presión y temperatura de ICOBANDAS S.A., fue posible identificar los elementos necesarios para implementar en el laboratorio de metrología, los procedimientos de calibración respectivos, así como las condiciones ambientales mínimas para la preservación de los instrumentos patrón.

Teniendo en cuenta las características de los patrones disponibles en el laboratorio de metrología, se remplazaron el flexómetro y el termómetro bimetálico por una regla y un termómetro basado en termorresistencia, respectivamente, con lo que se logró disminuir la contribución a la incertidumbre por resolución del patrón.

Después de establecer el método de calibración para cada tipo de medidor, se desarrolló un modelo general para el cálculo de la incertidumbre, donde se identificaron las fuentes de variación y se realizaron las debidas correcciones, de manera que fue posible reportar una incertidumbre que se encuentra dentro de los límites permitidos por la empresa.

Se elaboraron procedimientos de calibración para decímetros, flexómetros, manómetros, termómetros y Vernier, teniendo en cuenta las características de los equipos y el uso propuesto para ellos en el proceso de producción, haciendo más rentable para la empresa realizar calibraciones internas que externas.

De acuerdo con los procedimientos de calibración elaborados para equipos críticos y los procedimientos de comprobación existentes para equipos no críticos, se desarrolló una herramienta software que permite al metrólogo registrar estos

procesos y obtener los resultados de forma eficiente, lo cual representa un ahorro de costos a la empresa.

A partir de las pruebas de calibración realizadas a los equipos, se evaluaron los procedimientos y software desarrollados, estableciendo que se cumplían las expectativas y necesidades metrológicas de ICOBANDAS S.A.

Con las pruebas de calibración realizadas a los equipos, se determinó que los errores presentados por cada uno, se encuentran dentro de los límites establecidos para ellos en la empresa.

Adicionalmente, se realizaron procedimientos de calibración de balanzas y cuentametros, los cuales serán implementados en un futuro, dado que estos equipos se utilizan para la medición de variables físicas críticas en el proceso de producción de ICOBANDAS S.A.

Como parte de los requerimientos para que la empresa mantenga su certificación, con el trabajo desarrollado en la pasantía se dio cumplimiento al requisito establecido en el numeral 7.6 de la norma ISO 9001, con lo cual se asegura el buen funcionamiento de los equipos y se garantiza la calidad de los productos en cuanto a mediciones de longitud, presión y temperatura.

BIBLIOGRAFÍA

[1] ICONTEC. NTC-ISO 9001: Sistemas de gestión de la calidad, Requisitos. Colombia, 2008.

[2] APOYO Y DINAMIZACIÓN EN EL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA EN ICOBANDAS S.A. COMO REQUISITO PARA OBTENER LA CERTIFICACIÓN ISO 9000; UNICAUCA; Estrada, F; Quintero, L. Trabajo de Grado en Modalidad de Pasantía. Popayán, Colombia, 2004.

[3] ICOBANDAS S.A. IN-GM-02, Instructivo de Uso y Manejo de AND EP-12KA. Colombia, 2004.

[4] ICOBANDAS S.A. IN-GM-03, Instructivo de Uso y Manejo de la Balanza METTLER TOLEDO SPIDER 1-35. Colombia, 2004.

[5] ICOBANDAS S.A. IN-GM-04, Instructivo de Uso y Manejo de la Balanza SARTORIUS H 160. Colombia, 2004.

[6] ICOBANDAS S.A. IN-GM-07, Instructivo de Uso y Manejo del Cuentametros. Colombia, 2004.

[7] ICOBANDAS S.A. IN-GM-08, Instructivo de Uso y Manejo del Decámetro. Colombia, 2004.

[8] ICOBANDAS S.A. IN-GM-10, Instructivo de Uso y Manejo del Flexómetros. Colombia, 2004.

[9] ICOBANDAS S.A. IN-GM-12, Instructivo de Uso y Manejo del Manómetro. Colombia, 2004.

[10] ICOBANDAS S.A. IN-GM-13, Instructivo de Uso y Manejo del Micrómetro. Colombia, 2004.

- [11] ICOBANDAS S.A. IN-GM-14, Instructivo de Uso y Manejo del Nivel de precisión. Colombia, 2004.
- [12] ICOBANDAS S.A. IN-GM-15, Instructivo de Uso y Manejo del Pie de rey. Colombia, 2004.
- [13] ICOBANDAS S.A. IN-GM-17, Instructivo de Uso y Manejo del Tensiómetro electrónico. Colombia, 2004.
- [14] ICOBANDAS S.A. IN-GM-18, Instructivo de Uso y Manejo del Tensiómetro Hidráulico. Colombia, 2004.
- [15] ICOBANDAS S.A. IN-GM-19, Instructivo de Uso y Manejo del Termómetro BARNANT 90. Colombia, 2004.
- [16] ICOBANDAS S.A. IN-GM-20, Instructivo de Uso y Manejo del Termómetro bimetalico. Colombia, 2004.
- [17] ICOBANDAS S.A. PR-GM-04, Comprobación de las Balanzas electrónicas. Colombia, 2005.
- [18] ICOBANDAS S.A. PR-GM-05, Comprobación de los Cuentametros. Colombia, 2005.
- [19] ICOBANDAS S.A. PR-GM-06, Comprobación de los Decámetros. Colombia, 2005.
- [20] ICOBANDAS S.A. PR-GM-08, Comprobación de los Flexómetros. Colombia, 2005.
- [21] ICOBANDAS S.A. PR-GM-09, Comprobación de los Manómetros. Colombia, 2005.
- [22] ICOBANDAS S.A. PR-GM-11, Comprobación de los Pie de rey. Colombia, 2005.
- [23] ICOBANDAS S.A. PR-GM-13, Comprobación del Tensiómetro Hidráulico. Colombia, 2005.

- [24] ICOBANDAS S.A. PR-GM-12, Comprobación de los Termómetros. Colombia, 2005.
- [25] MEASUREMENT, INSTRUMENTATION AND SENSORS HANDBOOK. Webster J.G. CRC Press,1999.
- [26] ICONTEC. NTC 1724: Metrología. cintas métricas comerciales. Colombia, 1987.
- [27] SENSORS AND TRANSDUCERS; Sinclair I. Tercera edición. Oxford, Auckland, Boston, Johannesburg, Melbourne, New Delhi, 2001.
- [28] LESSONS IN INDUSTRIAL INSTRUMENTATION; Kuphaldt, T. Versión 0.4. San Francisco, California, 2009.
- [29] PROCESS MEASUREMENT AND ANALYSIS; Lipták, B. Cuarta edición. Boca Raton, Londres, New York, Washington D.C, 2003.
- [30] INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL; Creus, A. Sexta edición. Barcelona, España, 1997.
- [31] TRAZABILIDAD EN MEDIDAS FÍSICAS MEDIANTE CALIBRACIÓN DIRECTA: CALIBRACIÓN DE UNA BALANZA; Riu J. Boqué R. Maroto A. Rius X. Instituto de Estudios Avanzados, Universitat Rovira i Virgili, Pl. Imperial Tàrraco, Tarragona.
- [32] ICONTEC. GUIA SOBRE INCERTIDUMBRE EN LA MEDICIÓN INDUSTRIAL. Bogotá, Colombia, 2006.
- [33] ICONTEC. GTC 51: Guía para la expresión de la incertidumbre de la medición. Colombia.
- [34] CORPORACIÓN METROCALIDAD; UNIVALLE; Muñoz. L. Pasantía básica en mediciones longitudinales. Cali, Colombia, 2003.
- [35] ICOBANDAS S.A. ET-DT-65, Especificación Técnica. Producto Terminado. Ancho. Colombia, 2004.

- [36] ICOBANDAS S.A. ET-DT-65, Especificación Técnica. Producto Terminado. Largo. Colombia, 2004.
- [37] OIML R-35. Material measures of length for general use. Part 1: Metrological and technical requirements. Francia, 2007.
- [38] ICONTEC. NTC 4303: Pie de rey, requisitos y ensayos. Colombia, 1997.
- [39] ICOBANDAS S.A. ET-DT-64, Especificación Técnica. Producto Terminado. Calibre. Colombia, 2004.
- [40] CORPORACIÓN METROCALIDAD; UNIVALLE; Muñoz. L. Práctica de diplomado en Presiones. Cali, Colombia, 2003.
- [41] ICONTEC. NTC 1420: Manómetros. parte 1. Manómetros tipo Bourdon, Dimensiones, requisitos y ensayos. Colombia, 2001.
- [42] ICONTEC. NTC 2263: Metrología. Manómetros indicadores de presión, manómetros de vacío y manómetros de presión – vacío para usos generales. Colombia, 1987.
- [43] ICOBANDAS S.A. PS-GP-10, Plan de Seguimiento y Medición. Vulcanizado. Colombia, 2004.
- [44] ICONTEC. NTC 4476: Métodos de ensayo para la inspección y verificación de termómetros. Colombia, 1998.
- [45] ICOBANDAS S.A. PS-GP-06, Plan de Seguimiento y Medición. Tratamiento de lonas. Colombia, 2004.
- [46] ICOBANDAS S.A. PS-GP-07, Plan de Seguimiento y Medición. Calandrado. Colombia, 2004.
- [47] ICOBANDAS S.A. PR-GM-02, Procedimiento de metrología. Colombia, 2004.
- [48] ICONTEC. NTC 2031: Instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático. Requisitos metrológicos y técnicos. Ensayos. Colombia, 2002.

ANEXO A

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN. EJEMPLO

EVALUACIÓN DE LOS DECÁMETROS

1. OBJETIVO

En este procedimiento se define el método para la evaluación de los Decámetros de **Icobandas s. a.**, asegurando que el instrumento cumple con los límites de error aceptados por la empresa.

2. ALCANCE

Aplica a los diferentes tipos de Decámetros que no excedan un rango máximo de 20.000 mm, con división de escala hasta de 1 mm.

3. DEFINICIONES

Banco Comparador de Cintas Métricas. Equipo utilizado para la Comprobación y evaluación de Decámetros y decámetros que garantiza su planitud y paralelismo. Posee un indicador o aguja móvil paralela a la división de escala de las cintas, que permite la comparación de éstas con una Regla Patrón.

Regla Patrón. Regla certificada por un organismo acreditado que garantice la trazabilidad de la medida.

Error Máximo Permitido. Es el mayor error permitido (E_p) por las especificaciones dadas para el instrumento de medición.

Decámetro. Cinta metálica o en nylon dividida en unidades del sistema métrico decimal, que se emplea para medir longitudes, devanada en un tambor de arrollamiento que gira libremente. Son también conocidas como cintas de gran longitud.

Tolerancia (T). Diferencia entre los límites de control (superior e inferior) de la magnitud a medir, es decir, la cantidad total que le es permitida variar a una dimensión específica.

4. CONDICIONES GENERALES

4.1. ELEMENTOS NECESARIOS PARA LA COMPROBACIÓN-EVALUACIÓN

- Banco Comparador de Longitudes.

- Regla Patrón de 0 mm a 1000 mm con división de escala de 0,5 mm.
- Lupa para comparación.
- Disolvente y paños para la limpieza.
- Una pesa de 1 Kg.

4.2. OPERACIONES PRELIMINARES

4.2.1. Condiciones del laboratorio. Asegúrese que en el laboratorio se cumplan las condiciones descritas en el documento **Instructivo para realizar la evaluación de los equipos de seguimiento y medición.**

4.2.2. Limpieza. Antes de proceder con la evaluación del Decámetro, se someterá a una operación de limpieza que elimine toda la suciedad, el equipo se debe limpiar con un paño suave humedecido en varsol, petróleo puro, éter o gasolina blanca, luego se debe secar el instrumento con una bayetilla, lanilla o dulce abrigo blanco.

4.2.3 Inspección visual. La inspección visual, si se puede realizar, se debe registrar en el **Protocolo de evaluación de los Decámetros**, siguiendo el procedimiento descrito en el **Instructivo de Uso y Manejo del Software de Evaluación.**

Se realizará una inspección visual del Decámetro para observar que su escala esté dividida correctamente, en metros, centímetros y milímetros, que sus líneas de división estén bien definidas y claras, de tal forma que permita una lectura adecuada.

El Decámetro no debe tener manchas profundas de óxido ni rayas que impidan efectuar una medida confiable y segura.

El tambor debe girar libremente y la cinta debe estar conectada a éste de forma directa. Debe tener la manija de devanado articulada al tambor de arrollamiento para plegarla dentro o contra el estuche, carrete o tambor.

El tamaño de los números debe ser tan grande como se puedan acomodar sin interferir en la legibilidad. La cinta debe deslizarse suavemente al salir y entrar en el estuche, de tal modo que permita su normal funcionamiento.

Si alguna de las anteriores condiciones no se cumple o no se puede corregir, el Decámetro NO PASA, y deberá ser reemplazado por uno en buen estado, al cual se le debe aplicar el presente procedimiento.

5. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO.

5.1. EVALUACIÓN

La evaluación consiste en comparar el Decámetro con la Regla Patrón de 1.000 mm, para lo cual se debe realizar el montaje 10 minutos antes de comenzar el procedimiento, esto con el fin de igualar la temperatura de los equipos.

El montaje se realiza colocando en el Banco la cinta y la Regla Patrón paralelamente, haciendo coincidir sus ceros, o en un valor múltiplo de 1.000 mm más cercano en el Decámetro cuando se va a realizar la evaluación en un punto mayor. La cinta se debe sujetar con el seguro dispuesto para ello, colocando en su extremo una pesa de aproximadamente 1 Kg para poder tener una tensión equivalente a la que se tiene en una medida común durante la evaluación.

Para registrar los resultados de la evaluación se debe seguir las recomendaciones del **Instructivo de Uso y Manejo del Software de Evaluación**.

5.1.1. Toma de datos. La evaluación se realiza teniendo en cuenta la capacidad máxima del Decámetro, en los puntos indicados en el ANEXO 1.

La lectura se debe hacer con la lupa de comparación en forma ascendente, evitando el error de paralaje. Se debe fijar el punto en el Decámetro a comprobar con el indicador móvil y registrar la lectura obtenida en la Regla Patrón.

Equipos no críticos. Realice el procedimiento anterior dos (2) veces más. Los resultados se obtienen utilizando los ANEXOS 2 y 3, donde el error de linealidad de cada punto se compara con el límite de error permitido en la empresa según el ANEXO 3, si dicho límite es excedido el equipo NO PASA.

Equipos críticos. Realice el procedimiento anterior tres (3) veces más. Los resultados se obtienen utilizando los ANEXOS 2 y 4, donde el error de linealidad de cada punto se compara con el límite de error permitido en la empresa según el ANEXO 4, si dicho límite es excedido el equipo NO PASA. Además se obtiene la clase de la cinta. Si la tolerancia de trabajo es unilateral positiva, el error encontrado en cada punto, solo puede tomar valores negativos.

El cálculo de la incertidumbre se realiza de acuerdo con el documento **Cálculo de la incertidumbre para los equipos de seguimiento y medición**.

En los dos casos, si el equipo NO PASA, informe inmediatamente a la Gerencia de Mantenimiento para establecer que hacer con él.

El resultado de la evaluación con sus fechas, debe ser registrado en la **Hoja de vida de metrología** correspondiente.

5. DOCUMENTOS REFERENCIADOS

- Instructivo para realizar la evaluación de los equipos de seguimiento y medición
- Protocolo de evaluación de los Decímetros
- Instructivo de Uso y Manejo del Software de Evaluación
- Hoja de vida de metrología
- Cálculo de la incertidumbre para los equipos de seguimiento y medición

7. ANEXOS

ANEXO 1. PUNTOS DE EVALUACIÓN

Equipos	Puntos (mm)
No críticos	1.000; 5.000; 7.500; 10.000; 12.500; 15.000; 17.500; 20.000
Críticos	1.000; 2.000; 3.000; 4.000; 5.000; 6.000; 7.000; 8.000; 9.000; 10.000; 11.000; 12.000; 13.000; 14.000; 15.000; 16.000; 17.000; 18.000; 19.000; 20.000

ANEXO 2. CÁLCULO DEL ERROR DE LINEALIDAD

Se calcula el error de cada medida según la siguiente expresión:

$$E = \text{Promedio del Equipo} - \text{Medida del Patrón}$$

Dada la longitud del patrón (1 m), el error máximo corresponde a la acumulación de los errores presentados en cada metro del Decámetro.

ANEXO 3. TABLA DE ERRORES MÁXIMOS PERMITIDOS PARA EQUIPOS NO CRÍTICOS

El error permitido debe calcularse de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Error max. Permitido} = \pm (0,4 + 0,2L)$$

Donde L es el valor indicado por el Decámetro, en unidades de m.

Se debe tener cuidado en la aplicación de la fórmula cuando el límite inferior de la tolerancia de la medida sea cero (0), en este caso el error permitido para el límite inferior debe ser cero (0).

ANEXO 4. TABLA DE ERRORES MÁXIMOS PERMITIDOS PARA EQUIPOS CRÍTICOS

El error en cada punto de evaluación se calcula con la siguiente formula:

$$(a + bL)mm,$$

donde: L es el valor indicado por el Decámetro, en unidades de m,

a y b son valores de coeficientes dados para cada clase en la siguiente tabla.

Clase de exactitud	a	b
I	0.1	0.1
II	0.3	0.2
III	0.6	0.4

A partir de dicho error se determina la clase del Decámetro y se compara con las clases permitidas según la tolerancia de la medida en la capacidad máxima del equipo.

Variación de la Tolerancia T (mm)	Fracción max. de la Tolerancia	Clase Máxima Permitida
-50 ; +50	1/3	III
+50	1/3	III

ANEXO B

PROTOCOLO DE CALIBRACIÓN. EJEMPLO

ANEXO C

FORMATO DEL CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

**LABORATORIO DE METROLOGÍA DE ICOBANDAS S.A.
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

Certificado No.:

Magnitud:

Unidad:

Instrumento:

Fabricante:

Identificación:

Rango del Equipo:

Rango Calibrado:

Norma Técnica:

Fecha de Calibración:

Número de páginas del certificado incluyendo anexos:

Este certificado es emitido de acuerdo con los requerimientos de la norma NTC-ISO/IEC 17025 (Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración) para la calibración interna de los instrumentos críticos medidores de presión, temperatura y longitud de Icobandas S.A. para los cuales se ha establecido un procedimiento de calibración.

Firmas Autorizadas:

Calibró:

Aprobó:

**LABORATORIO DE METROLOGÍA DE ICOBANDAS S.A.
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

Certificado No.:

Método Utilizado:

Equipos Utilizados:

Condiciones de laboratorio:

Humedad Relativa:

Temperatura:

Procedimiento Interno Utilizado:

Trazabilidad:

El Laboratorio de Metrología de Icobandas S.A. certifica la trazabilidad de los patrones utilizados en la calibración interna de los equipos críticos medidores de presión, temperatura y longitud, los cuales han sido calibrados en laboratorios certificados por la Superintendencia de Industria y Comercio, que garantizan el mantenimiento, la conservación y la trazabilidad de sus patrones respecto de los patrones nacionales.

DESCRIPCIÓN	IDENTIFICACIÓN	CERTIFICADO N°	TRAZABILIDAD

Resultado:

GRÁFICA DE RESULTADOS

Para conocer los detalles de la calibración, remítase al protocolo de calibraciones internas correspondiente al equipo sometido a este procedimiento.

Incertidumbre:

El valor de incertidumbre expandida expresado anteriormente se estimó con un nivel de confianza de 95,45% al multiplicar la incertidumbre estándar combinada por un factor de cobertura $k=2$.

Observaciones: