

**DOCUMENTO DE PROCEDIMIENTOS PARA OPTAR A LA ACREDITACIÓN DE LA
VARIABLE TEMPERATURA EN UN LABORATORIO DE METROLOGÍA**

**LISDEY MILENA GÓMEZ RUEDA
JHOSMAN CEDIEL PINZÓN OLARTE**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERA ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
SECCIONAL BUCARAMANGA
2011**

**DOCUMENTO DE PROCEDIMIENTOS PARA OPTAR A LA ACREDITACIÓN DE LA
VARIABLE TEMPERATURA EN UN LABORATORIO DE METROLOGÍA**

**LISDEY MILENA GÓMEZ RUEDA
JHOSMAN CEDIEL PINZÓN OLARTE**

PROYECTO DE GRADO

**FABIO ALONSO GUZMÁN SERNA
DIRECTOR DEL PROYECTO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERA ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
SECCIONAL BUCARAMANGA**

2011

Nota de Aceptación

Firma de Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, 19 de Julio de 2011

A Dios, por darme la vida, la sabiduría, el empeño y la convicción para culminar con éxito este proyecto, y lo más importante por mi familia que siempre me han apoyado en todo momento.

A mis padres, Elizabeth y Jorge, por la educación que me brindaron y aun me imparten, siempre encaminando mi vida hacia el respeto y los valores.

A mi esposo Juan Carlos por estar siempre conmigo en este proceso universitario compartiendo las más gratas alegrías y sorteando siempre las adversidades.

A mis hijos por acompañarme y compartir conmigo las alegrías y tristezas de vivir.

Milena Gómez R.

Bucaramanga, 19 de Julio de 2011

Dedico este gran triunfo a Dios, por otorgarme todo cuanto deseo, siendo él la constante
en cada momento de mi vida.

A mis padres Esperanza y Noel por sembrar en mi el empeño, el amor y la búsqueda
de la felicidad en cada segundo de mi existencia.

A Wilmer y su esposa Andrea quienes además de ser mis hermanos son mis mejores
amigos y mentores.

A cada uno de los miembros de mi familia por el apoyo incondicional y la felicidad que
traen a mi vida.

A mi novia y amiga María A. Por quererme y apoyarme en cada una de mis aventuras.

A mis muchos y talentosos amigos quienes han compartido su sabiduría y vivencias este
maravilloso trascurrir.

Dios los bendiga
Jhosman Pinzón

AGRADECIMIENTOS

A nuestro consejero y director el Ing. Fabio Guzmán por su colaboración, paciencia y permanente apoyo para el desarrollo del proyecto.

Al Ing. William Cortes instructor del ICP por sus aportes en conocimiento y materiales, que permitieron el desarrollo teórico-práctico de nuestro trabajo.

Al Ingeniero Juan Carlos Mantilla por sus contribuciones y su juicio a lo largo de nuestra carrera.

A la memoria de la Ing. María Eugenia Porras quien con constructivas clases nos permitió incursionar el mundo de la metrología dando importantes aportes conceptuales a nuestro plan.

A nuestros compañeros de carrera quienes nos transmitían la buena energía para finalización de nuestra meta.

Al Ing. Bernardo Suarez Carreño, compañero y amigo que con su sapiencia y conocimiento nos hizo grandes aportes en la finalización de nuestro libro.

Y finalmente a todas las personas que estuvieron de alguna manera vinculadas en la elaboración y desarrollo de este proyecto.

Gratitudes y felicidades a todos ustedes.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
1. METROLOGÍA.....	2
1.1. NORMATIVIDAD	2
1.2. METROLOGÍA EN EL MUNDO	2
1.3. METROLOGÍA EN EL ÁMBITO NACIONAL.....	3
1.4. ¿POR QUÉ SE DEBE CALIBRAR?	3
2. TEMPERATURA	4
2.1. TERMÓMETROS DE CONTACTO	4
2.2. TERMÓMETROS SIN CONTACTO	4
2.3. ESCALAS DE TEMPERATURA.....	5
2.3.1. Escala Termodinámica de Temperatura.....	6
2.3.2. Escala Celsius	6
2.3.3. Escala Fahrenheit.....	6
2.4. ESCALA PRÁCTICA DE TEMPERATURA	6
3. ELEMENTOS DE CALIBRACIÓN EN TEMPERATURA	8
3.1. CALIBRACIÓN EN PUNTOS FIJOS	8
3.2. CALIBRACIÓN POR COMPARACIÓN	8
3.3. INSTRUMENTACIÓN	9
3.3.1. Termómetros Patrones	9
3.3.2. Indicadores	9
3.4. MEDIOS DE COMPARACIÓN.....	9
3.4.1. Baños líquidos.....	9
3.4.2. Hornos.....	10
4. TERMÓMETROS DE VIDRIO	11
4.1. PARTES DEL TERMÓMETRO DE VIDRIO	11
4.2. CLASIFICACIÓN DE TERMÓMETROS:	12
4.2.1. El uso para el cual fueron diseñados.....	12
4.2.2. La construcción o posición de la escala con respecto al capilar.....	13

4.3.	TERMÓMETROS ESPECIALES	14
4.4.	USO Y CUIDADOS DE LOS TERMÓMETROS DE VIDRIO	16
4.4.1.	Estado del líquido termométrico:	16
4.4.2.	Montaje de termómetro:	17
4.4.3.	Lectura de los termómetros:	18
4.4.4.	Conservación de los termómetros:.....	19
4.4.5.	Transporte de los termómetros:.....	19
4.5.	CALIBRACIÓN DE LOS TERMÓMETROS DE VIDRIO	19
4.6.	RAPIDEZ DE CAMBIO DE LA TEMPERATURA EN LOS BAÑOS	20
4.7.	DIFERENCIA ENTRE LA TEMPERATURA DEL BAÑO Y LA DE CALIBRACIÓN.....	21
5.	TERMÓMETROS DE RESISTENCIA	27
5.1.	TERMÓMETROS DE RESISTENCIA METÁLICOS	27
5.1.1.	TERMÓMETROS DE RESISTENCIA DE COBRE	27
5.1.2.	TERMÓMETROS DE RESISTENCIA DE NÍQUEL.....	27
5.1.3.	TERMÓMETROS DE RESISTENCIA DE PLATINO	27
6.	TERMOPARES (TERMOCUPLAS).....	35
6.1.	LEYES TERMOELÉCTRICAS	35
6.1.1.	Ley de los circuitos homogéneos	35
6.1.2.	Ley de los metales intermedios	35
6.1.3.	Cable de extensión.....	35
6.2.	MEDICIÓN DE LA FEM DE LOS TERMOPARES.....	35
6.2.1.	Medidor por deflexión	35
6.2.2.	Voltímetros digitales	36
6.2.3.	Potenciómetros	36
6.2.4.	Termopares estandarizados	36
7.	SISTEMA DE ASEGURAMIENTO METROLÓGICO	38
7.1.	GUÍA DE UN PROGRAMA DE ASEGURAMIENTO METROLÓGICO	38
7.1.1.	Control del programa:.....	38
7.1.2.	Aseguramiento de las mediciones:.....	38
7.2.	TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES.....	38

7.3.	INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN	39
7.3.1.	Debido a la magnitud que se mide:	41
7.3.2.	Debido al instrumento de medida	41
7.3.3.	Debido a las correcciones.....	41
7.3.4.	Por procedimiento de medida.....	41
7.3.5.	Calculo de la incertidumbre	42
7.4.	NIVELES DE CALIDAD	43
7.5.	PROGRAMAS DE ASEGURAMIENTO METROLÓGICO.....	44
7.5.1.	Capacitación del personal	44
7.5.2.	Inventario de equipos	44
7.5.3.	Programa de calibración	45
7.5.4.	Selección de patrones	45
7.5.5.	Procedimientos de calibración	45
7.5.6.	Mantenimiento de datos de calibración	46
7.5.7.	Sistema de control de mediciones.....	46
8.	CONDICIONES PARA EL PROCESO DE ACREDITACIÓN	48
8.1.	ELABORACIÓN DE UN CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN.....	50
	CONCLUSIONES	53
	BIBLIOGRAFÍA.....	54
	ANEXOS.....	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Termómetros más utilizados.	5
Tabla 2.	Puntos fijos de la Escala Internacional de Temperatura.	7
Tabla 3.	Rapidez de cambio de la temperatura en los baños.	21
Tabla 4.	Diferencia entre la temperatura del baño y la de calibración. [15]	21
Tabla 5.	Tubos de protección para termómetros de resistencia.	30
Tabla 6.	Temperaturas de trabajo de los cables de extensión de termopares.	36
Tabla 7.	Lista de termopares estandarizados.	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Partes del termómetro de vidrio.	12
Figura 2.	Profundidad de inmersión de un termómetro de vidrio.....	13
Figura 3.	Termómetro de vidrio de oclusión y de barra.....	14
Figura 4.	Termómetro de máxima – mínima. [12]	15
Figura 5.	Punto de hielo o punto crioscópico.	17
Figura 6.	Calibración de termómetros de vidrio. [16]	22
Figura 7.	Termómetro SPRT de cuello largo y de cápsula.	28
Figura 8.	Detalle de construcción de un IPRT.	29
Figura 9.	Conexión entre conductores internos y externos en un SPRT.	30
Figura 10.	Soporte del sensor en un SPRT.	31
Figura 11.	Terminales de un termómetro de resistencia.	31
Figura 12.	Comportamiento resistencia vs temperatura para una RTD Pt100, según las normas IEC 751 – 1995 y ASTM E 1137 – 97.	33
Figura 13.	Tolerancias de una Pt100.	33
Figura 14.	Resistencia vs temperatura en un termistor.	34
Figura 15.	Ley de los metales intermedios.	35

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. TRABAJO DE CAMPO REALIZADO EN EL LABORATORIO DE METROLOGÍA DEL INSTITUTO COLOMBIANO DE PETRÓLEOS (ICP).....	128
ANEXO 2. TERMÓMETROS DE REFERENCIA	61

GLOSARIO

DEFINICIONES TOMADAS DE LA NORMA NTC 2194:1997 - VOCABULARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS Y GENERALES EN METROLOGÍA.

MAGNITUD MEDIBLE: Atributo de un fenómeno, cuerpo o sustancia que se puede distinguir en forma cualitativa y determinar en forma cuantitativa.

SISTEMA DE MAGNITUDES: Conjunto de magnitudes, en el sentido general, entre las cuales existen relaciones definidas

MAGNITUD BÁSICA: Cada una de las magnitudes que, en un sistema de magnitudes, se aceptan por convención como funcionalmente independientes una respecto de otra.

MAGNITUD DERIVADA: En un sistema que tenga las magnitudes

DIMENSIÓN DE UNA MAGNITUD: Expresión que representa una magnitud en un sistema de magnitudes como el producto de los factores que representan las magnitudes básicas del sistema.

MAGNITUD DE DIMENSIÓN UNO – MAGNITUD ADIMENSIONAL: Magnitud cuya expresión dimensional, en función de las dimensiones de la base tiene todos sus exponentes reducidos a cero.

UNIDAD DE MEDIDA: Una magnitud en particular, definida por convención, con la cual se comparan otras magnitudes de la misma naturaleza, con el propósito de expresar sus cantidades en relación con esa magnitud.

SÍMBOLO DE UNA UNIDAD DE MEDIDA: Símbolo designado en forma convencional para una unidad de medida

SISTEMA DE UNIDADES DE MEDIDA: Conjunto de unidades básicas, junto con las unidades derivadas, definidas de acuerdo con las reglas dadas, para un sistema de magnitudes dado.

UNIDAD DE MEDIDA DERIVADA COHERENTE: Unidad de medida que se puede expresar como un producto de potencias de unidades básicas con un factor de proporcionalidad igual a uno.

SISTEMA COHERENTE DE UNIDADES DE MEDIDA: Sistema de unidades de medida en el cual todas las unidades derivadas son coherentes.

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES, SI: El sistema de unidades adoptado y recomendado por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM). Véase la NTC 1000.

UNIDAD DE MEDIDA BÁSICA: Unidad de medida de una magnitud básica en un sistema dado de magnitudes.

UNIDAD DE MEDIDA DERIVADA: Unidad de medida de una magnitud derivada en un sistema dado de unidades.

UNIDAD DE MEDIDA FUERA DE SISTEMA: Unidad de medida que no pertenece a un sistema dado de unidades.

MÚLTIPLO DE UNA UNIDAD DE MEDIDA: Unidad de medida más grande que se forma a partir de una unidad dada, de acuerdo con convenciones de escalonamiento.

SUBMÚLTIPLO DE UNA UNIDAD DE MEDIDA: Unidad de medida más pequeña que se forma a partir de una unidad dada, de acuerdo con convenciones de escalonamiento.

VALOR DE UNA MAGNITUD: Cantidad de una magnitud particular que se expresa como una unidad de medida multiplicada por un número.

VALOR VERDADERO DE UNA MAGNITUD: Valor consistente con la definición de determinada magnitud en particular.

VALOR CONVENCIONALMENTE VERDADERO DE UNA MAGNITUD: Valor atribuido a una magnitud particular y reconocida, a veces por convención, como poseedor de una incertidumbre apropiada para un propósito dado.

VALOR NUMÉRICO DE UNA MAGNITUD: Número que acompaña a una unidad de medida en el valor de una magnitud

ESCALA DE REFERENCIA CONVENCIONAL – ESCALA DE VALOR DE REFERENCIA: Para determinadas magnitudes de una naturaleza dada, un conjunto de valores ordenados, continuo o discreto. Definido por convención como una referencia para clasificar en orden creciente o decreciente las magnitudes de esa naturaleza.

MEDICIÓN: Conjunto de operaciones cuyo objeto es determinar un valor de una magnitud.

METROLOGÍA: Ciencia de la medición

PRINCIPIO DE MEDICIÓN: Base científica de una medición

MÉTODO DE MEDICIÓN: Secuencia lógica de las operaciones, descritas en forma genérica, que se utilizan al efectuar mediciones.

PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN: Conjunto de operaciones, descritas en forma específica, que se utilizan al efectuar mediciones particulares según un método dado.

MAGNITUD POR MEDIR: Magnitud particular sujeta a medición

MAGNITUD DE INFLUENCIA: Magnitud que no es la magnitud por medir, pero que incide en el resultado de la medición.

SEÑAL DE MEDIDA: Magnitud que representa a la magnitud por medir y que están funcionalmente relacionadas.

VALOR TRANSFORMADO DE UNA MAGNITUD POR MEDIR: Valor de una señal de medida que representa a determinada magnitud por medir.

RESULTADO DE UNA MEDICIÓN: Valor atribuido a una magnitud por medir, obtenido mediante medición.

INDICACIÓN DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: Valor de una magnitud suministrado por un instrumento de medición.

RESULTADO NO CORREGIDO: El resultado de una medición antes de la corrección por error sistemático

RESULTADO CORREGIDO: Cercanía de una medición después de la corrección por error sistemático

EXACTITUD DE LA MEDICIÓN: Cercanía del acuerdo entre el resultado de una medición y un valor verdadero de la magnitud por medir.

REPETIBILIDAD DE LOS RESULTADOS DE LAS MEDICIONES: Cercanía entre los resultados de mediciones sucesivas de la misma magnitud por medir, efectuadas en las mismas condiciones de medición.

REPRODUCIBILIDAD DE LOS RESULTADOS DE MEDICIONES: Cercanía entre los resultados de las mediciones de la misma magnitud por medir, efectuadas bajo condiciones de medición diferentes.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR EXPERIMENTAL: Para una serie de n mediciones de la misma magnitud por medir, la cantidad s que caracteriza a la dispersión de los resultados, y que está dada por la fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (a)$$

Siendo x_i el resultado de la medición *i*-ésima y siendo \bar{x} la media aritmética de los n resultados considerados.

INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN: Parámetro asociado con el resultado de una medición, que caracteriza a la dispersión de los valores que en forma razonable se la podría atribuir a la magnitud por medir. Esta definición es de la “Guía para expresión de la incertidumbre en la medición”, en la cual se explican sus bases en detalle.

ERROR DE MEDICIÓN: Resultado de una medición menos un valor verdadero de la magnitud por medir.

DESVIACIÓN: Valor menos su valor de referencia

ERROR RELATIVO: Error de medición dividido por un valor verdadero de la magnitud por medir.

ERROR ALEATORIO: Resultado de una medición menos la media que resultaría a partir de un número infinito de mediciones de la misma magnitud por medir, efectuadas en condiciones de repetibilidad.

ERROR SISTEMÁTICO: Medida que resultaría de un número infinito de mediciones de la misma magnitud por medir, efectuadas en condiciones de repetibilidad menos un valor verdadero de la magnitud por medir.

CORRECCIÓN: Valor agregado algebraicamente al resultado no corregido de una medición para compensar un error sistemático (valor verdadero menos el error medido).

FACTOR DE CORRECCIÓN: Factor numérico por el cual se multiplica el resultado no corregido de una medición, para compensar un error sistemático.

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: Dispositivo destinado para efectuar mediciones, solo o en conjunto con uno o varios dispositivos adicionales.

MEDIDA MATERIALIZADA: Dispositivo destinado a reproducir o suministrar en una forma permanente durante su uso, uno o más valores conocidos de una magnitud dada.

TRANSDUCTOR DE MEDICIÓN: Dispositivo que suministra una magnitud de salida que tiene una relación determinada con la magnitud de entrada.

CADENA DE MEDICIÓN: Serie de elementos de un instrumento de medición o de un sistema de medición, que constituye la trayectoria de la señal de medición desde la entrada hasta la salida.

SISTEMA DE MEDICIÓN: Conjunto completo de instrumentos de medición y otros dispositivos ensamblados para efectuar mediciones específicas.

INSTRUMENTO INDICADOR DE MEDICIÓN: Instrumento de medición que muestra el valor de una magnitud medida.

INSTRUMENTO REGISTRADOR DE MEDICIÓN: Instrumento de medición que suministra un registro de la indicación

INSTRUMENTO TOTALIZADOR DE MEDICIÓN: Instrumento de medición que determina el valor de una magnitud por medir, mediante suma de valores parciales de la magnitud por medir que se obtienen en forma simultánea o consecutiva a partir de una o más fuentes.

INSTRUMENTO INTEGRADOR DE MEDICIÓN: Instrumento de medición que determina el valor de una magnitud por medir mediante integración de una magnitud con respecto a otra.

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN ANÁLOGO: Instrumento de medición en el cual la salida o la presentación de la información es una función continua de la magnitud por medir o de la señal de entrada.

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DIGITAL: Instrumento de medición que suministra una señal de salida en forma digital.

DISPOSITIVO INDICADOR: Parte de un instrumento de medición que muestra una indicación.

DISPOSITIVO REGISTRADOR: Parte de un instrumento de medición que suministra un registro de una indicación.

SENSOR: Elemento de un instrumento de medición o de una cadena de medición que es afectado en forma directa por la magnitud a medir.

DETECTOR: Dispositivo o sustancia que indica la presencia de un fenómeno, sin suministrar necesariamente un valor de una magnitud asociada.

ÍNDICE: Parte fija o móvil de un dispositivo indicador cuya posición con referencia a las marcas de la escala permite determinar un valor indicado.

ESCALA DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: Conjunto ordenado de trazos, junto con la numeración correspondiente, que forma parte de un dispositivo indicador de un instrumento de medición.

LONGITUD DE ESCALA: Para una escala dada, es la longitud de la línea leída comprendida entre el primero y el último trazo de la escala, y que pasa a través de los centros de todos los trazos de la escala más corta.

RANGO DE LA INDICACIÓN: Conjunto de valores limitado por las indicaciones de los extremos

DIVISIÓN DE ESCALA: Parte de una escala entre dos trazos sucesivos.

LONGITUD DE UNA DIVISIÓN DE ESCALA: Distancia entre dos trazos sucesivos de la escala medidas a lo largo de la misma línea de la longitud de escala

VALOR DE UNA DIVISIÓN DE ESCALA: Diferencia entre los valores correspondientes a dos marcas sucesivas de la escala

ESCALA LINEAL: Escala en la cual cada longitud y el valor de cada división son relacionadas por un coeficiente de proporcionalidad que es constante a lo largo de la escala.

ESCALA NO LINEAL: Escala en la cual la longitud y el valor de cada división son relacionadas por un coeficiente de proporcionalidad que no es constante a lo largo de la escala.

ESCALA DE CERO SUPRIMIDO: Escala cuyo rango no incluye el valor de cero

ESCALA AMPLIADA: Escala en la cual una parte del rango de escala, ocupa una longitud de escala que es desproporcionadamente más grande que las otras partes

DIAL: Parte fija o móvil de un dispositivo indicador, en la cual se encuentra la escala o las escalas

NUMERACIÓN DE UNA ESCALA: Conjunto ordenado de números asociados con las marcas de la escala

MARCACIÓN DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: Operación de fijar las posiciones de las marcas de la escala en un instrumento de medición (en algunos casos, únicamente ciertas marcas principales), en relación con los valores correspondientes de las magnitudes por medir.

AJUSTE DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: Operación de ubicar un instrumento de medición en un estado de funcionamiento adecuado para su uso.

AJUSTE POR EL USUARIO DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: Ajuste en que únicamente se utilizan los medios que estén a disposición del usuario.

INTERVALO NOMINAL: Intervalo de indicaciones obtenible con determinada posición de los controles de un instrumento de medición.

INTERVALO DE MEDICIÓN: Módulo de la diferencia entre los dos límites de un intervalo nominal

VALOR NOMINAL: Valor redondeado o aproximado de una característica de un instrumento de medición, que suministra una guía para su utilización.

AMPLITUD DE LA MEDICIÓN (AMPLITUD DE TRABAJO): Conjunto de valores de magnitudes por medir para los cuales se prevé que el error de un instrumento de medición esté dentro de límites especificados.

CONDICIONES ASIGNADAS DE FUNCIONAMIENTO: Condiciones de utilización para las cuales se prevé que las características metrologías especificadas de un instrumento de medición, están dentro de los límites dados.

CONDICIONES LÍMITES: Condiciones extremas que un instrumento de medición debe resistir sin dañarse y sin que las características metrológicas especificadas se degraden cuando el instrumento se utiliza a continuación en sus condiciones asignadas de funcionamiento.

CONDICIONES DE REFERENCIA: Condiciones de utilización prescritas para ensayar el funcionamiento de un instrumento de medición o para la comparación de los resultados de mediciones.

CONSTANTE DE UN INSTRUMENTO: Coeficiente por el cual se debe multiplicar la indicación directa de un instrumento de medición, para obtener el valor indicado de la magnitud por medir o de una magnitud que se debe usar para calcular el valor de la magnitud por medir.

CARACTERÍSTICA DE RESPUESTA: Relación entre un estímulo y la respuesta correspondiente, para condiciones definidas.

SENSIBILIDAD: Cambio en la respuesta de un instrumento de medición, dividido por el cambio correspondiente en el estímulo.

UMBRAL DE DISCRIMINACIÓN: Mayor cambio en un estímulo que no produce cambio detectable en la respuesta de un instrumento de medición, siendo el cambio en el estímulo lento y monótono.

RESOLUCIÓN DE UN DISPOSITIVO INDICADOR: Menor diferencia entre las indicaciones de un dispositivo indicador, que se puede distinguir de forma significativa.

ZONA MUERTA: Máximo intervalo a través del cual se puede cambiar un estímulo en ambas direcciones, sin que se produzca un cambio en la respuesta de un instrumento de medición.

ESTABILIDAD (CONSTANCIA): Aptitud de un instrumento de medición para mantener constantes sus características metrológicas a lo largo del tiempo.

TRANSPARENCIA: Aptitud de un instrumento de medición para no alterar la magnitud por medir.

DERIVA: Cambio lento de una característica metrológica de un instrumento de medición.

TIEMPO DE RESPUESTA: Tiempo que transcurre entre el instante en que un estímulo se somete a un cambio abrupto especificado, y el instante en que la respuesta alcanza límites especificados y permanece dentro de ellos, alrededor de su valor estacionario final.

EXACTITUD DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: Aptitud de un instrumento de medición para dar respuestas cercanas a un valor verdadero.

CLASE DE EXACTITUD: Clase de instrumentos de medición que cumplen ciertos requisitos metrológicos, previstos para mantener los errores dentro de límites especificados.

ERROR (DE INDICACIÓN) DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: Indicación de un instrumento de medición menos un valor verdadero de la magnitud de entrada correspondiente.

ERRORES MÁXIMOS PERMISIBLES (DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN). LÍMITES DE ERRORES PERMISIBLES DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN.: Valores extremos de un error permitido por las especificaciones, las regulaciones, etc, para un instrumento de medición dado.

ERROR EN EL PUNTO DE MEDICIÓN DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: Error de un instrumento de medición en una indicación o valor especificado de la magnitud, seleccionada para comprobar el instrumento.

ERROR EN EL PUNTO DE MEDICIÓN DEL VALOR CERO DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: Error en el punto de medición del valor cero

ERROR INTRÍNSECO DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: Error de un instrumento de medición, determinado por las especificaciones técnicas del fabricante en las condiciones de referencia.

SESGO DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: Error sistemático de la indicación de un instrumento de medición.

AUSENCIA DE SESGO DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: Aptitud de un instrumento de medición para dar indicaciones libres de error sistemático.

REPETIBILIDAD DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: Aptitud de un instrumento de medición para dar indicaciones muy cercanas, en aplicaciones repetidas de la misma magnitud por medir bajo las mismas condiciones de medición.

ERROR REDUCIDO CONVENCIONAL DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: Error de un instrumento de medición dividido por un valor especificado para el instrumento.

PATRÓN DE MEDICIÓN: Medida materializada, instrumento de medición, material de referencia o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o más valores de una magnitud que sirva como referencia.

PATRÓN INTERNACIONAL DE MEDICIÓN: Patrón reconocido mediante un acuerdo internacional, que sirve internacionalmente como base para asignar valores a otros patrones de la misma magnitud.

PATRÓN NACIONAL DE MEDICIÓN: Patrón reconocido mediante una decisión nacional, que sirve en un país como base para asignar valores a otros patrones de la misma magnitud.

PATRÓN PRIMARIO: Patrón que es designado o ampliamente reconocido como poseedor de las más altas cualidades metrológicas, y cuyo valor se acepta sin reverenciarlo a otros patrones de la misma magnitud.

PATRÓN SECUNDARIO: Patrón cuyo valor se asigna mediante comparación con un patrón primario de la misma magnitud.

PATRÓN DE REFERENCIA: Patrón que generalmente posee la máxima calidad Metrológica que le permite en un sitio dado, a partir del cual se derivan las mediciones hechas en dicho lugar.

PATRÓN DE TRABAJO: Patrón que se utiliza rutinariamente para calibrar o comprobar instrumentos de medición.

PATRÓN DE TRANSFERENCIA: Patrón que se utiliza como medio para comparar patrones

PATRÓN VIAJERO: Patrón, a veces de construcción especial, destinado a ser transportado entre lugares diferentes.

TRAZABILIDAD: Propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón, en virtud de la cual ese resultado se puede relacionar con referencias estipuladas, generalmente patrones nacionales o internacionales, a través de una cadena ininterrumpida de comparaciones que tengan todas las incertidumbres determinadas.

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

CONSERVACIÓN DE UN PATRÓN DE MEDICIÓN: Conjunto de operaciones necesarias para preservar dentro de límites apropiados, las características metrológicas de un patrón de medición.

MATERIAL DE REFERENCIA (MR): Material o sustancia en que uno o más de sus valores característicos son suficientemente homogéneos y bien establecidos para usarlos en la calibración de un aparato, la evaluación de un método de medición, o la asignación de valores a los materiales.

MATERIAL DE REFERENCIA CERTIFICADO (MRC): Material de referencia, acompañado de un certificado, donde uno o varios valor (es) de la(s) propiedad(es) (son) certificado(s) mediante un procedimiento que establece su trazabilidad a una realización exacta de la unidad, en la cual se expresan los valores de la propiedad, y para la cual cada valor certificado lleva consigo una incertidumbre con un nivel de confianza estipulado.

DEFINICIONES TOMADAS DE LA NORMA NTC ISO 10012:2003 SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA MEDICIÓN. REQUISITOS PARA LOS PROCESOS DE MEDICIÓN Y LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN.

SISTEMA DE GESTIÓN DE LAS MEDICIONES: Conjunto de elementos interrelacionados o que interactúan necesarios para lograr la confirmación metrológica y el control continuo de los procesos de medición.

PROCESO DE MEDICIÓN: Conjunto de operaciones que permiten determinar el valor de una magnitud.

CONFIRMACIÓN METROLÓGICA: Conjunto de operaciones necesarias para asegurar que el equipo de medición cumple con los requisitos.

Notas:

La confirmación metrológica generalmente incluye calibración y / o verificación, cualquier ajuste necesario o reparación y posterior re calibración, comparación con los requisitos metrológicos para el uso previsto del equipo de medición, así como cualquier sellado y etiquetado requeridos.

La confirmación metrológica no se consigue hasta que se demuestre y documente la adecuación de los equipos de medición para la utilización prevista.

Los requisitos relativos a la utilización prevista pueden incluir consideraciones tales como el rango, la resolución, los errores máximos permisibles, etc.

Los requisitos de confirmación metrológica normalmente son distintos de los requisitos del producto y no se encuentran especificados en los mismos.

FUNCIÓN METROLÓGICA: Función con responsabilidad en la organización para definir e implementar el sistema de gestión de las mediciones.

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DOCUMENTO DE PROCEDIMIENTOS PARA OPTAR A LA ACREDITACIÓN DE LA VARIABLE TEMPERATURA EN UN LABORATORIO DE METROLOGÍA

AUTOR(ES): LISDEY MILENA GÓMEZ RUEDA
JHOSMAN CEDIEL PINZÓN OLARTE

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Electrónica

DIRECTOR: FABIO ALONSO GUZMÁN SERNA

RESUMEN

La metrología comprende aspectos tanto teóricos como prácticos, que hacen referencia a las mediciones abarcando todas sus incertidumbres, en cualquier campo de la ciencia y la tecnología. Este documento otorga información precisa acerca de este campo y la variable temperatura, además de los procedimientos viables necesarios que necesita un laboratorio de metrología para optar a la acreditación por los organismos especializados que certifican laboratorios de metrología, con base en normas internacionales. De igual manera se busco que cualquier persona interesada en este ámbito acceda a un protocolo cómodo donde pueda ver de forma clara y breve el proceso para acreditar una variable siguiendo las normas existentes y asegurando la calidad de los servicios que se ofrezcan. Se trabaja la variable temperatura, ya que esta es una de las más utilizadas y de vital importancia en procesos industriales; para ello es necesario conocer que instrumentos se necesitan en la implementación del laboratorio teniendo en cuenta las condiciones ambientales, físicas y manipulación de cada unos de los patrones utilizados para tal fin.

PALABRAS CLAVES:

METROLOGÍA, TEMPERATURA, CALIBRACIÓN,
ACREDITACIÓN, INCERTIDUMBRE, NORMAS.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

ABSTRACT OF THESIS PROJECT

TITLE: DOCUMENT PROCEDURES FOR ELIGIBLE
FOR ACCREDITATION OF VARIABLE TEMPERATURE IN A
LABORATORY OF METROLOGY

AUTHOR(S): LISDEY MILENA GÓMEZ RUEDA
JHOSMAN CEDIEL PINZÓN OLARTE

DEPARTMENT: Faculty of Electrical Engineering

DIRECTOR: FABIO ALONSO GUZMÁN SERNA

ABSTRACT

Metrology includes both theoretical and practical aspects, which refer to measurements covering all its uncertainties, in any field of science and technology. This document gives detailed information about this field and variable temperature, viable addition to the procedures necessary metrology laboratory needed to qualify for accreditation by the specialized agencies certified metrology laboratory, based on international standards. Similarly, it is looking for anyone interested in this area convenient access to a protocol where you can see clearly and briefly the process to establish a variable according to existing standards and ensuring quality of services offered.

It works the variable temperature, since this is one of the most used and of vital importance in industrial processes, for it is necessary to know which tools are needed to implement the laboratory taking into account environmental conditions, physical and handling of each one patterns used for this purpose.

KEYWORDS:

METROLOGY, TEMPERATURE, CALIBRATION,
ACCREDITATION, UNCERTAINTY, RULES.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo de la sociedad y el crecimiento del comercio, surgió la necesidad de crear una ciencia que estudie y defina los patrones de medición utilizados para cuantificar los diferentes parámetros que rigen la vida del hombre, esta ciencia fue llamada metrología. Hoy en día son numerosos los aspectos de la vida que dependen de las medidas, Las empresas sienten la necesidad de ser cada día más competentes y a medida que va creciendo la tecnología esta tiende a ser más exacta, por esto debe ir de la mano con la metrología.

La creciente demanda de calidad de los clientes y la competencia exigen niveles altos de tecnología y procedimientos de control más allá de los tradicionales, es por esto que muchas empresas han optado por sistemas de control más avanzados los cuales proporcionan a la empresa rapidez y eficiencia a la hora de producir un producto de calidad.

Con esta tesis se desarrollo una manual, el cual contendrá todo lo que se necesita para optar a la acreditación de una de las tantas variables que se trabajan en el laboratorio de metrología, como lo es la temperatura.

1. METROLOGÍA

1.1. NORMATIVIDAD

En metrología existen documentos que permiten seguir un proceso para la aplicación de métodos de calibración de la variable temperatura, cumpliendo con lo establecido por entidades encargadas del control de instrumentación de medición.

La norma ISO/17025 contiene los requisitos necesarios para implementar un laboratorio de ensayo y calibración, generando resultados técnicamente competentes. El uso de esta norma internacional permite el intercambio de conocimientos con otros organismos y la estandarización de las medidas [32].

Las normas que contienen los requisitos para el proceso de calibración de instrumentos de temperatura son:

- ✓ Norma ASTM E230 para termocuplas
- ✓ Norma ASTM 1137 para RTD(resistencias de platino)
- ✓ Norma ASTM E1 para termómetros de vidrio

1.2. METROLOGÍA EN EL MUNDO

Durante la época de la revolución, en Francia, se implementó la metrología como una ciencia, estandarizando los sistemas de medidas y asegurando la unificación internacional y el perfeccionamiento del sistema métrico. Debido a la globalización, hoy en día se encuentran involucrados todos los países que deseen realizar algún tipo de intercambio comercial o de servicios.

La oficina internacional de pesas y medidas (BIPM), es el instituto científico encargado de realizar las siguientes tareas:

- Garantizar la uniformidad de las unidades físicas en todo el mundo
- Mantener los patrones primarios de las más importantes magnitudes físicas
- Almacenar prototipos internacionales
- Comprar patrones nacionales e internacionales
- Determinar los valores de las constantes físicas

Este instituto científico trabaja bajo la supervisión del comité internacional de pesas y medidas (CIPM) [29]

1.3. METROLOGÍA EN EL ÁMBITO NACIONAL

La superintendencia de industria y comercio (SIC), a través de la división de metrología, es la encargada de la custodia, el mantenimiento de los patrones nacionales de medida y la promoción de los sistemas equivalentes de medida[30], y el ORGANISMO NACIONAL DE ACREDITACIÓN DE COLOMBIA – ONAC tiene como objeto principal acreditar la competencia técnica de Organismos de Evaluación de la Conformidad con las normas y desempeñar las funciones de Organismo Nacional de Acreditación de Colombia[31].

1.4. ¿POR QUÉ SE DEBE CALIBRAR?

El sentido de la calibración se hace con el ánimo de saber si la lectura de un instrumento de medición es correcta o si se encuentra dentro de los parámetros permitidos por un determinado proceso.

Implementar una cultura de calibración en un proceso, ya sea de producción o de investigación puede presentar ahorro tanto de tiempo como de dinero y disminuye el riesgo de la seguridad del personal involucrado.

Realizar calibraciones rutinarias garantiza la repetibilidad de los procesos dando de esta manera homogeneidad en los productos terminados.

Las calibraciones deben ser hechas por personal competente con equipos e instrumentos patrón trazables a patrones nacionales o internacionales. Es importante tener en cuenta el lugar donde se realicen las calibraciones, ya que existen diversos factores que afectan los resultados y estos necesitan ser controlados y cuantificados para posteriormente aplicar las respectivas correcciones o ser sumados a las incertidumbres de calibración [29].

2. TEMPERATURA

La temperatura es una magnitud de vital importancia, ya que es utilizada en muchos campos como: la industria, la medicina, en laboratorios, ambiente, confort en medios de transporte, entre otros; por eso se hace necesaria su correcta medición con el propósito de ejercer su correcto y óptimo control. Para poder medir la temperatura con precisión, es necesario conocer los instrumentos, los métodos más usados y su correcta aplicación a los procedimientos.

En primer lugar se debe tener en cuenta el rango de medición que se usa en la industria, el cual va de -200°C a 3000°C [1], es importante tener presente la exactitud de la medición en alguna aplicación específica.

Se encuentra diferentes tipos de instrumentos y métodos de medición desarrollados, es por eso que se debe conocer por lo menos los de mayor empleo, para poder utilizar el más óptimo dependiendo de la medición requerida.

2.1. TERMÓMETROS DE CONTACTO

Los termómetros de contacto, son aquellos que se utilizan en contacto inmediato con el objeto de medición, estos dependen de las características de transferencia de calor entre el objeto de medición y el termómetro. Los errores que se presentan con este tipo de instrumentos pueden ser por medición, contacto o retardo. [1]

2.2. TERMÓMETROS SIN CONTACTO

También conocidos como termómetros de radiación o infrarrojos, miden la temperatura de un cuerpo a partir de la radiación que emite dicho cuerpo. En esta medición el termómetro no tiene contacto con el cuerpo al cual se le está determinando la temperatura.

Este tipo de termómetros se utilizan para medir temperaturas en sitios de difícil acceso, temperaturas muy altas en determinados objetos y objetos en movimiento. [1]

Tabla 1. Termómetros más utilizados.

TERMÓMETRO	RANGO
De contacto	
Mecánicos	
de Vidrio, el líquido no moja el vidrio	- 38 °C a 600 °C
de Vidrio, el líquido moja el vidrio	- 200 °C a 210 °C
Líquido - elemento elástico	- 35 °C a 500 °C
Presión de vapor - elemento elástico	- 50 °C a 350 °C
Dilatación de una varilla	0 °C a 1 000 °C
Bimetálicos	- 50 °C a 400 °C
Eléctricos	
Termopares	- 200 °C a 3000 °C
Termo resistencias	- 200 °C a 850 °C
Termistores	- 80 °C a 150 °C
Circuitos integrados	- 55 °C a 150 °C
Sin contacto	
Termómetros de radiación	
De densidad espectral	- 40 °C a 3 500 °C
Comparación de colores	700 °C a 2 200 °C
Métodos de medición especiales	
Puntos de fusión (pastillas, crayolas, lacas, gránulos)	30 °C a 1 400 °C
Cambios de color en rótulos con tinta	40 °C a 1 350 °C
Conos pirométricos (cerámica)	600 °C a 1 000 °C
Cristales líquidos	20 °C a 135 °C

Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 12p.

2.3. ESCALAS DE TEMPERATURA

Las escalas de temperatura son muy importantes a la hora de hacer una medición, se puede crear una escala de temperatura teniendo en cuenta tres elementos [1]:

- Puntos fijos
- Termómetros
- Ecuación de interpolación

2.3.1. Escala Termodinámica de Temperatura

Su unidad es el Kelvin (no °K), está definida de tal manera que las diferencias de temperatura tengan el mismo valor que en grados Celsius; de esta manera una diferencia de temperatura de un grado en Celsius , también se puede expresar como . La temperatura es escala termodinámica se simboliza con la letra T y se le puede llamar también *temperatura absoluta*. La temperatura de congelación del agua es 273.15°K ; como este valor define el cero de la escala Celsius, a cualquier temperatura es esta escala se le suma 273.15 para obtener la temperatura absoluta. [3]

2.3.2. Escala Celsius

Es la escala más utilizada en la actualidad, además de ser la más empleada en la notación científica. Esta define el cero como el punto de congelación del agua pura (0°C) y el cien como el punto de ebullición del agua pura (100°C). [4]

2.3.3. Escala Fahrenheit

Esta escala está representada por $^\circ\text{F}$, y los puntos de congelación y ebullición son 32°F y 212°F respectivamente; la distancia que separa cada uno de los grados son 180 intervalos iguales. Para las temperaturas inferiores al punto de congelación del agua y el punto de ebullición, las escalas se pueden extender usando los mismos intervalos. [5]

2.4. ESCALA PRÁCTICA DE TEMPERATURA

Anteriormente se definieron escalas prácticas de temperatura que permitieran una fácil y alta reproducibilidad, en los años 1927, 1948, 1968 y por último la del año 1990 que es la que actualmente está en vigencia y se denomina Escala Internacional de temperatura de 1990, ITS-90.

Todas las mediciones de temperatura realizadas en la práctica están referidas en esta escala, teniendo en cuenta que los termómetros que se utilicen hayan sido calibrados en ella. [1]

Tabla 2. Puntos fijos de la Escala Internacional de Temperatura.

PUNTO FIJO	TEMPERATURA (°C)
Punto de presión de vapor de Helio	- 270,15 a - 268,15
Punto triple de Hidrógeno	-259,3467
Punto de presión de vapor de Hidrógeno	≈ -256,15
Punto triple de Neón	-248,5939
Punto triple de Oxígeno	-218,7916
Punto triple de Argón	-189,3442
Punto triple de Mercurio	-38,8344
Punto triple de Agua	0,01
Punto de fusión de Galio	29,7646
Punto de solidificación de Indio	156,5985
Punto de solidificación de Estaño	231,928
Punto de solidificación de Zinc	419,527
Punto de solidificación de Aluminio	660,323
Punto de solidificación de Plata	961,78
Punto de solidificación de Oro	1064,18
Punto de solidificación de Cobre	1084,62

Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 16p.

A dicha escala están referidas todas las mediciones de temperatura en la práctica siempre y cuando los termómetros que se utilicen hayan sido calibrados respecto a patrones de esta. [1]

3. ELEMENTOS DE CALIBRACIÓN EN TEMPERATURA

Es recomendable calibrar periódicamente los instrumentos de medición de temperatura, ya que estos sufren durante su uso cambios bruscos debido a tratamientos físicos, térmicos, químicos, mecánicos o atómicos, lo cual puede ocasionar que el equipo se descalibre y no trabaje de acuerdo a las especificaciones iniciales. [1]

Para la calibración de estos instrumentos de temperatura, existen dos métodos:

- En puntos fijos
- Por comparación

3.1. CALIBRACIÓN EN PUNTOS FIJOS

Para conocer el significado del método de puntos fijos se debe partir de una definición irrefutable de la temperatura que se dio a conocer a través de las leyes de la termodinámica en el siglo XIX, el cual se puede determinar por cualquier método que derive de la segunda ley de la termodinámica. Por ejemplo, si se tiene la ecuación general de los gases $P.V = n.R.T$

P = Presión de un gas ideal
V = Volumen de un gas ideal
n = Número de moles
R = Constante molar del gas
T = Temperatura absoluta en °K

Se puede observar la relación directa entre la presión, el volumen y la temperatura de un gas ideal. Por lo tanto, la temperatura puede ser determinada midiendo la presión del gas. Este método no requiere materiales característicos y factores de conversión ya que la escala práctica de temperatura (ITS 90) usualmente refiere a un a las propiedades de un material específico. Obteniéndose como ventaja una buena repetibilidad con un menor esfuerzo

De acuerdo a lo anterior se concluye que para cada punto fijo existe una temperatura que determina el estado del material. Obteniéndose de esta manera una tabla estandarizada para el proceso de calibración. [35].

3.2. CALIBRACIÓN POR COMPARACIÓN

Este método consiste en comparar las lecturas del termómetro bajo prueba contra las lecturas de un termómetro patrón cuando ambos están inmersos en un mismo medio a la misma temperatura. La implementación de esta técnica se hace en condiciones específicas, teniendo en cuenta la relación entre los valores de las magnitudes indicadas

por el instrumento de medición a calibrar, el sistema de medición y el instrumento de referencia [36].

El equipo necesario para realizar este procedimiento es el siguiente:

- Termómetro de referencia.
- Indicador para el termómetro de referencia.
- Indicador para el termómetro bajo prueba.
- Fuente de temperatura

3.3. INSTRUMENTACIÓN

3.3.1. Termómetros Patrones

En los termómetros patrones es importante garantizar, que la incertidumbre de medición global obtenida (uniformidad y estabilidad del medio de comparación) generada por los instrumentos corresponda a las necesidades de exactitud de la medición. Algunos termómetros patrones utilizados son termómetros de resistencia, termómetros de vidrio y termopares calibrados. [1]

3.3.2. Indicadores

Muchas veces se requiere de una buena exactitud en la medición y se tienen como patrones termómetros de resistencia y termopares, se utilizan junto con ellos indicadores que ayudan a disminuir los errores de una lectura directa en °C por ejemplo. Los errores se introducen en la medición a través de los procesos de conversión análoga digital, digital análoga o liberalización de una señal en el rango de temperatura medida. [1]

3.4. MEDIOS DE COMPARACIÓN

Para los medios de comparación se utilizan baños líquidos y hornos de bloque metálico. [1]

3.4.1. Baños líquidos

Son utilizados principalmente para calibraciones de alta exactitud, calibrar termómetros de líquido en vidrio e incluso para termómetros cuyas formas geométricas no están sujetas a las reglas. Por su alta estabilidad y uniformidad es el más adecuado para las calibraciones donde es necesaria una incertidumbre baja. Las principales características de los baños líquidos son: [7]

- Alta exactitud
- Adaptable a distintos diámetros y profundidad de inmersión de termómetros

- Normalmente no son portátiles
- Cambios de temperatura lentos
- Requiere de termómetro de referencia externo
- Es crítica la selección del fluido
- Intervalo de temperatura de uso restringido

Los baños líquidos que se utilizan son los siguientes. [1]

- Etanol(-80°C a 20°C)
- Agua(20°C a 80°C)
- Aceite siliconado(80°C a 200°C)
- Sales(200°C a 550°C)

3.4.2. Hornos

Está formado por un bloque metálico, que es calentado mediante resistencias con un controlador de temperatura de precisión ($\pm 2^\circ\text{C}$). Es utilizado para aplicaciones de alta temperatura (-25 a 1200°C). Se utiliza para la calibración de sondas de temperatura. Pueden programarse las temperaturas y la pendiente de subida o bajada y comunicarse a un ordenador. [8]

En los hornos de bloque metálico (o también llamados solamente hornos), se pueden reproducir temperaturas desde -20°C a 1000°C. [1]

4. TERMÓMETROS DE VIDRIO

4.1. PARTES DEL TERMÓMETRO DE VIDRIO

Bulbo: Pequeño recipiente de delgadas paredes de vidrio contenedor del líquido termométrico. [1]

Capilar: Tubo de vidrio por el cual el líquido termométrico se desplaza dependiendo de los cambios de temperatura; puede constar de las siguientes partes según sea el tipo de termómetro. [1]

- **Capilar de media:** parte en la que se encuentra plasmada la escala térmica.
- **Capilar de acoplamiento:** componente que une el bulbo con el capilar de media.
- **Cámara de contracción:** sección amplia del capilar en la que se interrumpe la indicación en una zona determinada, esto permite que la columna del líquido termométrico se mantenga y no retorne al bulbo. Es importante anotar que no todos los termómetros poseen esta sección.
- **Cámara de expansión:** llamada también burbuja de seguridad, esta es una sección permite proteger el termómetro por un cambio súbito que aumente la expansión del líquido termométrico en el capilar, esta sección protege hasta determinado punto y sea se encuentra ubicada al final del capilar.

Columna:

Nombre dado al líquido termométrico alojado en el capilar, el cual posee la propiedad de expansión o contracción según los cambios de temperatura a los que es expuesto. Entre los más utilizados está el mercurio que posee un amplio rango de operación (-38,86 a 356,66) pudiéndose extender con ayuda de un gas inerte, pero para temperaturas muy bajas es necesario utilizar fluidos orgánicos humectantes como los alcoholes o el pentano, cuyo punto de congelación es bastante bajo. [1]

Menisco de la columna:

Parte superior de la columna con la cual se realiza la lectura del termómetro. [1]

Escala principal:

Parte del termómetro la cual está dividida en secciones equivalentes en grados (°C o °F principalmente), esta escala permite tomar las lecturas en los rangos disponibles en el termómetro. [1]

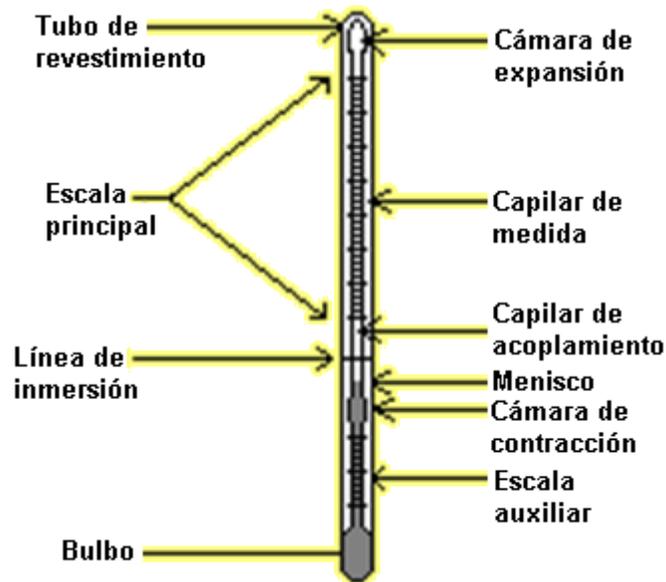
Escala auxiliar:

Escala adicional a la principal utilizada para medir temperaturas de referencia, esta se usa para la calibración del termómetro. [1]

Gas protector:

Gas seco y libre de oxígeno que tiene como función evitar el rebosamiento del líquido termométrico e impedir la separación del mismo. [1]

Figura 1. Partes del termómetro de vidrio.



Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 24p.

4.2. CLASIFICACIÓN DE TERMÓMETROS:

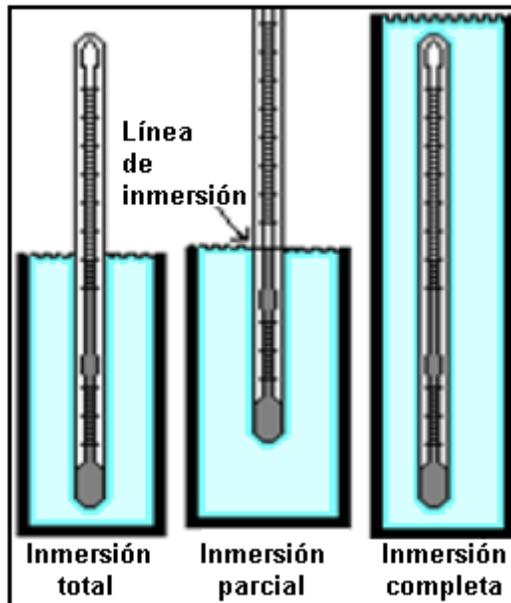
Pueden clasificarse según:

4.2.1. El uso para el cual fueron diseñados

- **Inmersión total:** funcionan adecuadamente cuando el bulbo y la totalidad del líquido termométrico se encuentran a la misma temperatura del medio a evaluar.
- **Inmersión parcial:** este sumerge el bulbo y el capilar el cual posee una marca que le indica hasta que profundidad específica debe ser calado en el medio a medir.

- **Inmersión completa:** este termómetro debe ser sumergido en su totalidad en el medio el cual se desea saber su temperatura. Con esto se garantiza el funcionamiento correcto. [1]

Figura 2. Profundidad de inmersión de un termómetro de vidrio.



Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 28p.

4.2.2. La construcción o posición de la escala con respecto al capilar

- **De oclusión:** la escala se encuentra fijada en medio del capilar y una lámina de material apropiado, que permita la lectura del termómetro.
- **De barra:** la escala térmica está grabada en la cara externa del tubo capilar. [1]

Figura 3. Termómetro de vidrio de oclusión y de barra.



Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 30p.

4.3. TERMÓMETROS ESPECIALES

Termómetro de ajuste: instrumento exacto, que tienen la particularidad de ajuste inicial de temperatura y además mide pequeñas diferencias en ella. Algunos de estos tienen la facilidad de agregar o retirar el mercurio para ampliar los rangos de trabajo. [1]

Termómetros extremos

Existen tres tipos:

- **Termómetros de mínima:** mide temperaturas mínimas. Posee un pequeño indicador de hierro que es arrastrado por el menisco del líquido termométrico (Alcohol) cuando la temperatura desciende, de esta manera cuando existe un aumento en la temperatura el indicador obstruye el líquido mostrando el registro más bajo. [1]
- **Termómetro de máxima:** tiene como finalidad registrar temperaturas máximas. Cuando existe un incremento en la temperatura el mercurio pasa

por una reducción pero restringe el líquido cuando la temperatura desciende revelando el valor más alto. [1]

- **Termómetro de máximo-mínimo:** posee dos termómetros en uno, cuyo principio de funcionamiento es basado en los anteriormente descritos. En estos se registran tanto valores máximos como mínimos gracias al comportamiento que sus líquidos termométricos que son mercurio y alcohol respectivamente. [1]

Figura 4. **Termómetro de máxima – mínima.** [12]



Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 32p.

Termómetro de columna: son utilizados para medir la temperatura media de la columna emergente de otro termómetro con el fin de hacer el cálculo de la corrección por columna emergente. [1]

Termómetros calorimétricos: Miden pequeñas diferencias de temperatura en las mediciones calorimétricas con la mayor exactitud posible. [1]

Termómetros de contacto: sirven para abrir o cerrar circuitos eléctricos mediante un dispositivo fijo o regulable del cual está provisto el termómetro. Cuando el circuito eléctrico se abre o cierra el termómetro alcanza una cierta temperatura. [1]

Termómetros de ebullición: sirven para la determinación de la presión atmosférica a partir del punto de ebullición del agua. Cuando se usan en aparatos de ebullición de agua (hipsómetros) para medir alturas son también llamados termómetros hipsométricos. [1]

Termómetros de vástago: Se usan para medir temperaturas en lugares de difícil acceso.

La parte inferior de estos termómetros suele estar bastante alejada de la parte superior en donde está la escala. [1]

Termómetros acodados: caracterizado por el hecho de que la montura está constituida por un cuerpo tubular, mide la temperatura del subsuelo a profundidades de 50 y 100 cms, de modo que su depósito de mercurio se encuentre dentro de la tierra y la escala de medición a la vista del observador. [1]

Termómetros de volteo: Los termómetros de inversión (volteo) son aquellos cuya columna se rompe por un punto determinado al ser volteado. Con la posición del nuevo menisco, formado al romperse la columna de mercurio, se determina la temperatura que existía en el momento en el que se volteó. [1]

Termómetros clínicos: instrumento que sirve para medir la temperatura corporal que comprende divisiones de décimas de grado entre 35 °C y 42 °C y los hay de uso oral, rectal y axilar. Normalmente se usa para tomar la temperatura corporal de los pacientes. [1]

Termómetros para la medición de temperaturas en lagos y mares: Los utilizan del siguiente modo; cuando el termómetro alcanza la profundidad demandada, se cambia su posición, el mercurio pasa por un pequeño estrechamiento situado encima del bulbo y se deposita en otra columna. De la longitud de esta última se consigue la temperatura una vez generadas las correcciones por efectos de la presión. [1]

Otros tipos de termómetros de vidrio: termómetros químicos, para estufas bacteriológicas, para refrigeración, para uso veterinario, fotográficos, meteorológicos, procesos de destilación de derivados del petróleo y para determinación de puntos de inflamación entre otros. [1]

4.4. USO Y CUIDADOS DE LOS TERMÓMETROS DE VIDRIO

4.4.1. Estado del líquido termométrico:

Debe estar compacto, sin roturas en la columna y sin burbujas de gas. Es necesario realizarle constantemente chequeos ya sea con lupa o microscopio para determinar si está en condiciones; especialmente a los termómetros de mercurio.

En los termómetros de mercurio cuyo capilar esté hecho el vacío por encima del menisco y se usan a altas temperaturas, es preciso verificar que el líquido termométrico no se haya evaporado y luego condensado por encima del menisco en la pared del capilar o en la cámara de expansión.

Se debe impedir que el termómetro se enfríe hasta el punto de solidificación del líquido. Si esto sucede, debe calentarse primero el capilar y el extremo superior del bulbo. Para el enfriamiento resulta adecuado el uso de hielo mezclado con sal de cocina o una mezcla

de hielo seco y etanol.

Para los termómetros con relleno de gas protector que no sobrepasen en mucho la temperatura de 250 °C los restos del líquido termométrico que se encuentren en la cámara de expansión pueden unirse a la columna mediante un cuidadoso calentamiento de la zona de la cámara de expansión con una llama débil.

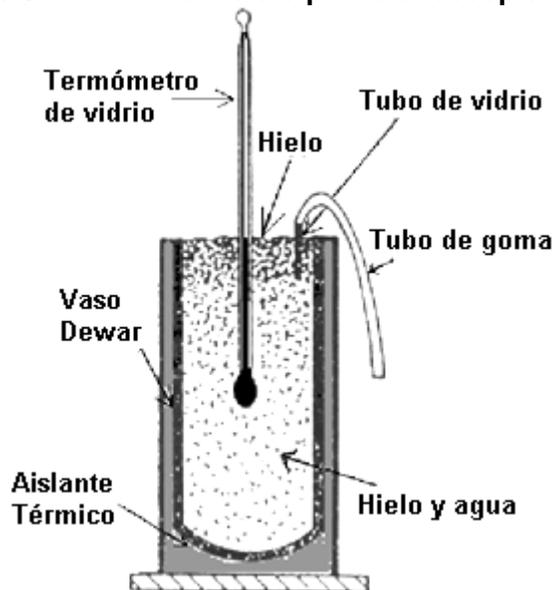
Después de un calentamiento por cualquiera de los casos anteriormente descritos debe hacerse un control de la indicación del termómetro. Se recomienda hacerlo en el punto de hielo o punto crioscópico.

El punto de hielo se define como la temperatura de equilibrio de una mezcla de hielo y agua saturada de aire, al que se le asigna una temperatura de 0,0 °C. [1]

4.4.2. Montaje de termómetro:

Los termómetros deben limpiarse antes de su montaje para mediciones del punto crioscópico porque los residuos de sales o grasa pueden afectar el resultado de la medición; se recomienda para ello el uso de etanol. [1]

Figura 5. Punto de hielo o punto crioscópico.



Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 36p.

Lo viable es que los termómetros de vidrio sean montados y usados en la profundidad de inmersión para lo cual están diseñados; sin embargo, pueden presentarse situaciones

como las siguientes:

1. En termómetros de inmersión parcial, deben sumergirse más de lo establecido en los casos en que la totalidad del bulbo o la cámara de contracción no queden dentro del fluido a medir, teniendo en cuenta que si son termómetros que midan temperaturas por encima de 500 °C hay que ser muy cuidadoso porque el soporte de la escala podría desfigurarse.
2. Los termómetros Beckman de inmersión parcial y los termómetros calorimétricos se recomienda usarlos en inmersión completa para lograr resultados de medición más reproducibles al eliminar la influencia de la temperatura ambiente.
3. Para los termómetros de inmersión total, en especial los termómetros de mercurio en cuyo capilar el vacío esté hecho por encima de la columna, la columna deben sobrepasar entre 2 cm y 4 cm del medio de comparación.

En los termómetros de vidrio suministrados de relleno de gas protector no deben ser sumergidos por encima del menisco y debe evitarse de un modo especial un fuerte calentamiento de la cámara de expansión porque al aumentar la presión del gas protector se podrían producir errores ión o una deformación del bulbo.

Los termómetros de vidrio no deben sujetarse con demasiada fuerza porque se corre el riesgo de romperlos; no obstante el termómetro debe sujetarse con la suficiente firmeza como para que no se deslice, pero también, debe poder ser desplazado con un esfuerzo mínimo.

Con los termómetros de vidrio con líquido humectante hay que tener la precaución de enfriarlos lentamente de modo que el líquido termométrico fluya al retraerse la columna, sin que queden residuos en las paredes del capilar. [1]

4.4.3. Lectura de los termómetros:

La columna y la escala no deben coincidir en un mismo plano, el ojo del asistente debe proyectar el menisco sobre la escala o viceversa. El ojo y el menisco deben estar en un plano perpendicular al eje del capilar de medida. Los errores por paralaje en la lectura de termómetros de oclusión se impiden haciendo coincidir sobre una recta la primera marca divisoria por encima del menisco, la parte de la línea divisoria que se observa a través del capilar y los extremos de la línea divisoria visibles a los lados del capilar.

Para evitar errores por paralaje en los termómetros de barra con mercurio debe mirarse a la línea divisoria más alta por debajo del menisco, de modo que ésta coincida con su imagen reflejada en el mercurio. En aquellos termómetros de barra en que sea posible leer por la parte anterior y por la parte posterior, puede hacerse y efectuar el valor medio de ambas lecturas.

La lectura debe hacerse con la mejor iluminación posible; usando además, una lupa de cuatro aumentos o un monóculo de diez aumentos. En algunos termómetros, particularmente en los de alta exactitud, cuyo capilar es muy fino, el mercurio asciende o desciende a saltos; para eliminar esta fuente de error en lo posible todos los termómetros

deben golpearse suavemente antes de cada lectura, en su parte superior. [1]

4.4.4. Conservación de los termómetros:

Para impedir separaciones de columna, se debe conservar en posición vertical, apoyados en una superficie blanda y amortiguadora como algodón y espuma entre otros. Los termómetros con líquido termométrico diseñados para mediciones de temperatura por debajo de los 50 °C deben protegerse de los rayos directos del sol. [1]

4.4.5. Transporte de los termómetros:

Para el transporte de termómetros de vidrio es recomendable envolverlos en un material de seda o similar y guardarlos en un estuche de madera o cartón, recubierto interiormente por un material amortiguador como algodón, celulosa y espuma entre otro, que aisle al termómetro de las paredes de la caja. [1]

4.5. CALIBRACIÓN DE LOS TERMÓMETROS DE VIDRIO

- **Inspección inicial:** antes de realizar la calibración, el termómetro es sujeto a una inspección visual utilizando un microscopio de diez (10) aumentos con el fin de identificar defectos en la escala o en el vidrio, separaciones de la columna, suciedades en el capilar o en el líquido termométrico o pequeñas gotas de mercurio destilado en la cámara de expansión. Si el termómetro no presenta ninguna de las fallas nombradas anteriormente se realiza la calibración, de lo contrario es rechazado. [1]
- **Estabilización:** antes de calibrar los termómetros son sometidos a un ensayo de estabilización, condición necesaria para que los resultados de calibración sean constantes en el tiempo. [1]
- **Montaje de los termómetros:** se recomienda instalar los termómetros en los baños, antes de que entren en funcionamiento con el objetivo de no someterlos a choques térmicos. Si el baño ya esta una temperatura elevada se debe precalentar uniformemente el termómetro hasta aproximadamente 50 °C por debajo de la temperatura del baño, antes de sumergirlo paulatinamente en el baño. Los termómetros se sostienen con pinzas metálicas elásticas de tal manera que el termómetro quede bien sujeto y así no haya riesgo de que se deslice dentro del baño. [1]
- Para evitar cualquier riesgo, el termómetro es envuelto por encima de la pinza con

una banda o liga de caucho de tal manera que si el termómetro se corre hacia abajo la liga no lo deje pasar a través de la pinza. Lo importante es que el punto de la escala donde se espera tomar la lectura, sea de fácil lectura para el observador de tal manera que además de ser cómodo tomar la lectura, se evite la introducción de errores de medición, ya sea por paralaje o por lecturas erróneas. [1]

- **Patrones de trabajo:** son aquellos que a través de sus lecturas determinan la temperatura del baño o temperatura patrón en la calibración. Como patrones de trabajo se utilizan termómetros de resistencia o termómetros de vidrio y calibrados entre otros. Durante la calibración se utilizan de uno a dos patrones de trabajo. Cuando se utiliza un solo patrón se supone que se conocen de antemano las características del baño como estabilidad, uniformidad, reproducibilidad e incluso exactitud en temperatura, ya que estos valores son empleados en la determinación de la incertidumbre de medición y también para monitoreo del proceso. Cuando se emplean dos patrones su uso sirve para el chequeo recíproco de los dos patrones a través de la diferencia en sus lecturas, como también como una ayuda para la estimación de la componente de incertidumbre generada por la falta de uniformidad en temperatura en la región donde están instalados los termómetros a calibrar. Se aconseja que los patrones de trabajo sean de menor división de escala que los termómetros que se van a calibrar. [1]
- **Termómetros de chequeo:** termómetros de vidrio que son ubicados en los extremos de los baños, entre ellos están los termómetros a calibrar. Si no se dispone de termómetros de resistencia, estos patrones de chequeo hacen las veces de patrones de trabajo. Su uso es opcional y se calibran en los mismos puntos que los termómetros bajo calibración y son utilizados dentro del programa de aseguramiento de las mediciones del laboratorio para monitorear la repetitividad de los resultados de la calibración y como una ayuda para evaluar la incertidumbre aleatoria del proceso de calibración a través de la dispersión de sus resultados de calibración. [1]
- **Termómetros a calibrar:** estos se colocan entre los patrones de chequeo, y en medio de éstos se instala el termómetro patrón de resistencia, cuando sólo se cuenta con uno sólo. Si se dispone de dos termómetros patrones de resistencia, éstos se ponen a lado y lado de los demás termómetros. Si el termómetro bajo calibración es de inmersión parcial con especificación junto a él deben instalarse el o los respectivos termómetros de columna o auxiliares para determinar la temperatura media de la columna emergente. [1]

4.6. RAPIDEZ DE CAMBIO DE LA TEMPERATURA EN LOS BAÑOS

Se recomienda no sobrepasar los siguientes valores:

Tabla 3. Rapidez de cambio de la temperatura en los baños.

RANGO TEMPERATURA (°C)	MÁXIMA RAPIDEZ DE CAMBIO EN LA TEMPERATURA (°C / MIN)
200 a -58	0.1
-58 a -5	0.05
-5 a 110	0.02
110 a 310	0.03
>310	0.05

Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 41p.

4.7. DIFERENCIA ENTRE LA TEMPERATURA DEL BAÑO Y LA DE CALIBRACIÓN

La diferencia máxima admisible entre la temperatura del baño y la temperatura de calibración es:

Tabla 4. Diferencia entre la temperatura del baño y la de calibración. [15]

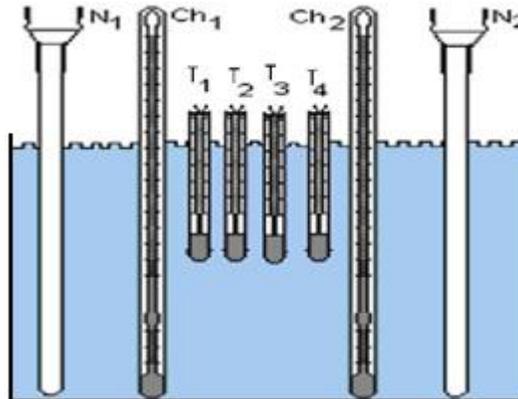
DIVISIÓN DE ESCALA (°C)	DIFERENCIA MÁXIMA (°C)
0,01	0,05
0,02	0,1
0,05	0,2
0,1	0,3
0,2 a 1	0,5
2 a 10	1

Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 41p.

Selección de los puntos de calibración: se deben calibrar en un número de puntos suficiente para que la corrección a la indicación se pueda interpolar con seguridad. Los puntos se deben distribuir igualmente a lo largo de la escala. En la mayoría de los casos es suficiente con que los puntos de calibración se distancien 100 divisiones de escala. Cuando se quiere interpolar con una puntualidad de una a dos décimas de la división de escala se debe reducir la distancia a 20 divisiones ó a 50 divisiones de escala. [1]

Toma de datos: a continuación se toman cuatro (4) lecturas por cada termómetro y se efectúa el promedio del siguiente orden, ver figura 6.

Figura 6. Calibración de termómetros de vidrio. [16]



Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 42p.

Toma de Datos 1

- Se anotan los datos de la lectura del patrón de trabajo N_1 .
- Se lee el termómetro Ch_1 .
- Consecutivamente se leen los termómetros que se están calibrando, desde T_1 hasta T_n .
- Se lee el termómetro de Ch_2 .
- Se anota la lectura patrón de trabajo N_2 .

Toma de Datos 2

- Se lee de nuevo el patrón N_2 .
- Se lee el termómetro Ch_2 .
- En la dirección de T_n a T_1 , se leen consecutivamente los termómetros bajo calibración.
- Se lee el patrón Ch_1 .
- Se lee el patrón N_1 .

Toma de Datos 3

- Se repiten los pasos de la toma de datos 2

Toma de Datos 4

Se repiten los pasos de la toma de datos 1

Cálculos

Error en la indicación de los termómetros que se calibran: “Es igual a la indicación real, menos la indicación.

Corrección a la indicación: Es el negativo del error. En los certificados de calibración emitidos por la Superintendencia de Industria y Comercio se declara este valor.

Promedios Se encuentran los promedios de los cuatro valores tomados con el patrón, los termómetros de chequeo y los que se están calibrando de modo independiente:

$$N_{pro} = (N_1 + N_2 + N_3 + N_4) / 4 \quad (4.1)$$

$$Ch_{1pro} = (Ch_{11} + Ch_{12} + Ch_{13} + Ch_{14}) / 4 \quad (4.2)$$

$$Ch_{2pro} = (Ch_{21} + Ch_{22} + Ch_{23} + Ch_{24}) / 4 \quad (4.3)$$

$$T_{1pro} = (T_{11} + T_{12} + T_{13} + T_{14}) / 4 \quad (4.4)$$

$$T_{Pnpro} = (T_{n1} + T_{n2} + T_{n3} + T_{n4}) / 4 \quad (4.5)$$

Correcciones de los termómetros patrones: Se suman algebraicamente las correcciones provenientes de errores sistemáticos del patrón ya sea declaradas en el certificado de calibración, manual de uso o halladas en el laboratorio y se obtiene el valor C_t (corrección total) a la lectura del patrón. [1]

Temperatura correcta de los patrones.

Se suma el valor N_{pro} más C_t y se obtiene la temperatura correcta: $T_c = N_{pro} + C_t$, para cada patrón. [1]

Temperatura correcta del baño:

Si se utilizan dos patrones el valor correcto de la temperatura del baño es el valor medio de la temperatura medida por los dos patrones. Si se tiene un solo patrón se utiliza el valor medido con dicho patrón. Este valor se utiliza como indicación teórica en la definición de error dada más arriba. [1]

Promedios para 0 °C de los patrones de chequeo

$$Ch_{10pro} = (Ch_{110} + Ch_{120} + Ch_{130} + Ch_{140}) / 4 \quad (4.6)$$

$$Ch_{20pro} = (Ch_{210} + Ch_{220} + Ch_{230} + Ch_{240}) / 4 \quad (4.7)$$

Correcciones reducidas de los patrones de chequeo

Se encuentra la corrección reducida de los patrones de chequeo:

$$Ch_{r1} = Ch_{1t} - Ch_{10} \text{ pro} \quad (4.8)$$

$$Ch_{r2} = Ch_{2t} - Ch_{20} \text{ pro} \quad (4.9)$$

donde, Ch_{r1} corrección reducida del termómetro de chequeo 1

Ch_{1t} corrección total del termómetro de chequeo 1

Ch_{10} corrección en 0 °C del termómetro de chequeo 1

Ch_{r2} corrección reducida del termómetro de chequeo 2

Ch_{2t} corrección total del termómetro de chequeo 2

Ch_{20} corrección en 0 °C del termómetro de chequeo 2

Para encontrar la corrección reducida de los termómetros bajo calibración se hace la misma consideración que para los termómetros de chequeo. [1]

Corrección por columna emergente, C_{ce}

Si alguno de los termómetros bajo calibración se usó en una profundidad de inmersión diferente a aquella para la cual fue diseñado, se calcula la corrección por columna emergente usando la siguiente ecuación: [1]

$$C_{ce} = k n (T_2 - T_1) \quad (4.10)$$

donde,

k el coeficiente de expansión aparente del líquido respecto al vidrio ($k = 0,00016$ °C- para termómetros con mercurio; $k = 0,001$ °C para termómetros con alcohol, ambos medidos en °C) [1]

n el número de grados de la columna emergente T_2 la temperatura del baño y T_1 la temperatura media de la columna emergente, medida con un termómetro de columna.

Para termómetros con especificación de temperatura media de la columna emergente, la ecuación para calcular la corrección es igual a la anterior siendo T_2 la temperatura de referencia o especificada y T_1 la temperatura media a la cual se encuentra la columna emergente. [1]

Corrección por presión, C_p

Tanto la presión externa al termómetro como la presión interna en las paredes de del capilar del termómetro introducen cambios en la indicación del termómetro, principalmente cuando se utiliza el termómetro sin tubo de protección en sitios con sobre-presión. La ecuación para calcular la corrección por presión es: [1]

$$C_p = -(p - p_0) \Delta t / \Delta p \quad (4.11)$$

donde,

p : presión externa sobre el bulbo del termómetro

$p_0 = 1 \text{ bar}$

$\Delta t/\Delta p$ se toma aproximadamente igual a $0,1 \text{ }^\circ\text{C}/\text{bar}$.

Corrección por inclinación del termómetro, C_i

Si el termómetro fue ajustado de fábrica para uso vertical y se emplea en forma horizontal la corrección aproximada es: [1]

$$C_i = -l * 0,0015 \text{ }^\circ\text{C}/\text{cm} \quad (4.12)$$

donde,

l = longitud de la columna de mercurio

Corrección declarada en el certificado de calibración

La corrección total a la temperatura indicada por el termómetro es:

$$C_t = C_i + C_{ce} + C_p + C_i \quad (4.13)$$

En condiciones normales de laboratorio C_p y C_i son despreciables, sin embargo, si el termómetro de vidrio no se utiliza en las mismas condiciones de inmersión mantenidas durante su calibración el valor de C_{ce} puede ser apreciable ($1 \text{ }^\circ\text{C}$ ó más) por lo que no se puede despreciar. El valor que se declara en el certificado de calibración es C . [1]

Certificado de calibración

En el certificado de calibración se colocan primero las características metrológicas del termómetro calibrado, el nombre del solicitante, las normas o procedimientos de calibración, los patrones y el método de calibración usados. A continuación se da una tabla donde aparece en la primera columna las temperaturas en que fue calibrado el termómetro, en la segunda columna las correcciones a la indicación del termómetro. Estas correcciones son válidas si el termómetro es usado en las condiciones en que fue calibrado, en otro caso deben calcularse nuevas correcciones a la indicación del termómetro. En la tercera columna aparece la incertidumbre de medición para cada una de las temperaturas, hallada como: [1]

(4.14)

En donde S , parte aleatoria de la incertidumbre se calcula a través de la dispersión en la corrección reducida de los termómetros de chequeo, y la u_i contribución sistemática a la incertidumbre de medición, a la cual contribuyen, los equipos empleados durante la calibración, el termómetro calibrado, el operador, el medio ambiente y el método empleado en los cálculos (redondeo, ajuste de curvas, etc.) [1]

5. TERMÓMETROS DE RESISTENCIA

5.1. TERMÓMETROS DE RESISTENCIA METÁLICOS

En ambientes industriales, se emplean principalmente materiales como Cu, Ni y Pt para los termómetros de resistencia. [1]

5.1.1. TERMÓMETROS DE RESISTENCIA DE COBRE

Son implementados cuando la exactitud no es determinante. Son lineales y precisos en su respuesta. Su rango de operación es desde los -70 grados Celsius hasta los 150 grados Celsius. Su composición física es basada en cobre puro. Debido a su poca resistividad se implementa un alambre de cobre para la producción de un termómetro de dimensiones pequeñas y rápida respuesta, debido a esto un valor nominal es de 10 ohm a una temperatura de 25 grados Celsius. [1]

5.1.2. TERMÓMETROS DE RESISTENCIA DE NÍQUEL

Estos termómetros son usados para mediciones que van desde los -100 grados Celsius hasta los 150 grados Celsius, llegando hasta una temperatura máxima de 180 grados Celsius (expuesta por tiempo limitado). El alambre de Níquel tiene un α de 0.0061 ohm/(ohm x grados Celsius). Debido a su sensibilidad se usa para controlar la temperatura donde no interese su valor absoluto. [1]

5.1.3. TERMÓMETROS DE RESISTENCIA DE PLATINO

De acuerdo a su exactitud se clasifican en:

- **Termómetros patrón de resistencia de platino (SPRT)**

Utilizados como interpoladores en la definición ITS-90. Se dividen a su vez en SPRT de baja temperatura y los de tallo largo (de 60 centímetros aproximadamente) para temperaturas de hasta 961 grados centígrados. En el interior del tubo se encuentra el termómetro de 60 centímetros de longitud y de 0.07 mm de diámetro. El termómetro tiene una resistencia de 25.5 ohm a 0.01 grados Centígrados. Para su calibración se sigue el texto de la ITS-90. [1]

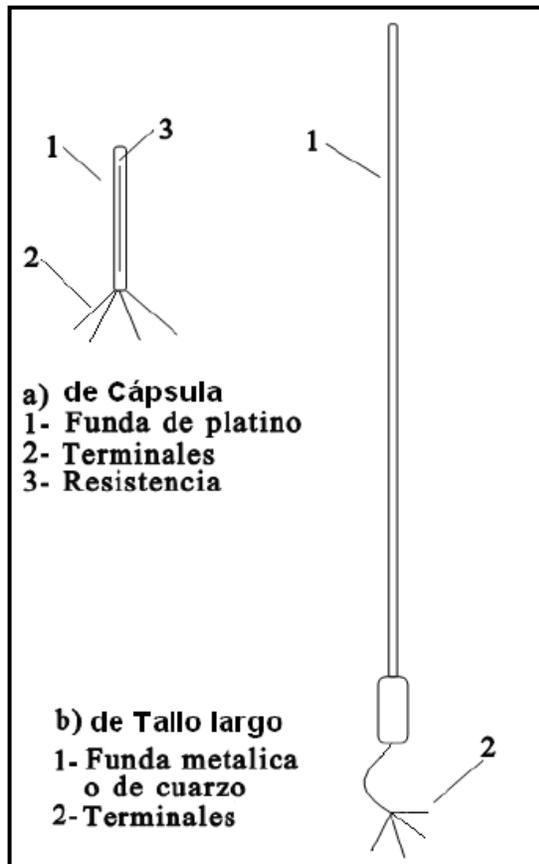
*Termómetros de cápsula:

Se utilizan como interpoladores desde 13 K hasta 273.16 K. Vienen dentro de un tubo de platino de 5 centímetros de longitud y 3 mm de diámetro selladas. El helio mejora el contacto térmico.

*Termómetro de tallo largo:

Están encapsulados en tubos de silica con aire seco. Dentro se puede encontrar termocuplas tipo Pt25 utilizadas desde 84 K hasta 660 grados Celsius, las Pt0.25 (sensibilidad de 0.01 ohm/grado Celsius) y las Pt2.5 (de sensibilidad 0.001 ohm/grado Celsius) soportando hasta los 1100 grados Celsius. Pt significa que su constitución es de platino. Este termómetro posee una resistencia de 25.5 ohm a 0.01 grados Celsius. Según el texto ITS-90 se indican el procedimiento para su calibración. Ver figura 7.

Figura 7. **Termómetro SPRT de cuello largo y de cápsula.**



Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 57p.

Es importante mantener la funda limpia de impurezas depositadas sobre esta en los termómetros de tallo largo para temperaturas elevadas, ya que las impurezas pueden contaminar el sensor.

Estos dispositivos deben ser manipulados cuidadosamente, ya que movimientos bruscos y/o vibraciones pueden causar cambios de temperatura de 0.1 grados Celsius debido a las tensiones ejercidas sobre el alambre de platino. Para evitar cambios térmicos bruscos, estos termómetros deben pasar por un proceso de precalentamiento. Así también se

previene posibles daños a los componentes internos de este dispositivo. Durante un periodo de 2 horas aproximadamente, son sometidos a una temperatura de 450 grados Celsius con el propósito de librar el sensor de tensiones mecánicas que cambian el valor:

$$W(t) = R(t) / R_{0,01} \quad (5.1)$$

Este valor es decisivo para la exactitud del termómetro. Es valor de la resistencia a una temperatura t corresponde a $R(t)$ y el valor de la resistencia en un punto triple del agua corresponde a $R_{0,01}$. Bajo la norma ITS-90 se realiza la calibración de este termómetro. [1]

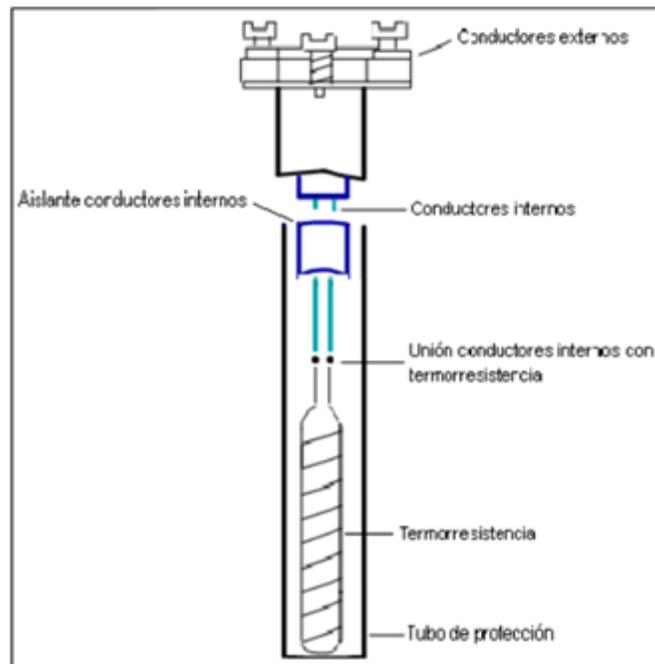
- **Termómetros industriales de resistencia de platino (IPRT)**

Constituidos del platino de pureza más baja que sus contrapartes SPRT, sus exactitudes pueden variar desde 0.1 grados Celsius hasta 1 grado Celsius. Son más resistentes al tratamiento brusco porque vienen cubiertos en vidrio o cemento refractario. [1]

- **Construcción de un termómetro de resistencia**

Mediante resistencias nominales a 0 grados Celsius de 50 Ω , 100 Ω , 200 Ω , 500 Ω y 1000 Ω son constituidos los IPRT. Los más implementados son las Pt100 de las cuales el sensor está fabricado de platino de 0.025mm de diámetro. [1]

Figura 8. **Detalle de construcción de un IPRT.**



Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 59p.

- **Conductores Internos:** Unen el sensor a los puntos de conexión del instrumento que mide la resistencia. Para los SPRT materiales como el oro y el platino son los más usados, mientras que para los IPRT lo son el cobre y la plata. [1]
- **Tubo o funda de protección:** Su forma y dimensión deben corresponder apropiadamente con la medición. En la tabla 5 se listan los materiales más usados. [1]

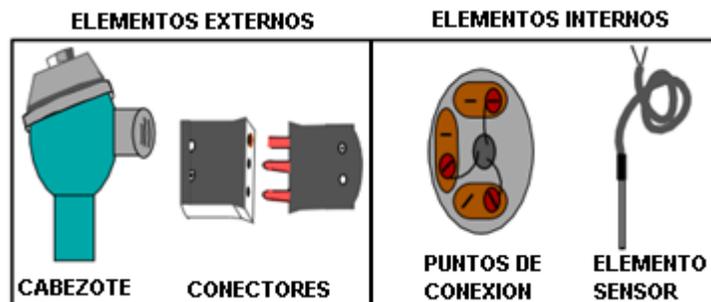
Tabla 5. Tubos de protección para termómetros de resistencia.

MATERIAL	TEMPERATURA MÁXIMA DE UNO (°C)	USO
Cuarzo	1100	Patrones primarios
Cerámica	1000	Uso general
Níquel	850	Uso general
Vidrio	600	Laboratorio
Estaño bronce	300	Uso general

Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 60p.

- **Espacios libres:** Con el propósito de optimizar el contacto térmico entre el sensor y la superficie a medir, aumentar la estabilidad mecánica del mismo, estos espacios libres se llenan con aire seco o helio para los tipos SPRT y cerámica para los tipo IPRT. [1]
- **Conexión entre conductores internos y externos:** Existen varias configuraciones para conectar los conductores internos y externos como se puede ver en la figura 9.

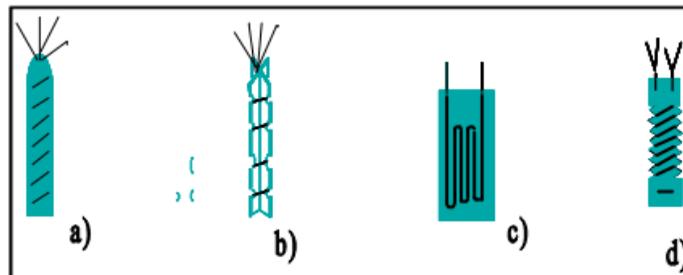
Figura 9. Conexión entre conductores internos y externos en un SPRT.



Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 61p.

- **Soporte del sensor:** En el caso de algunos SPRT la resistencia puede estar suspendida en casos de requerir una alta exactitud. Con el propósito de eliminar inductancias el alambre de platino debe estar en configuración bifilar montado en materiales como vidrio, mica, cuarzo, cerámica o plástico en los termómetros de resistencia industriales, como se puede ver en la figura 10. [1]

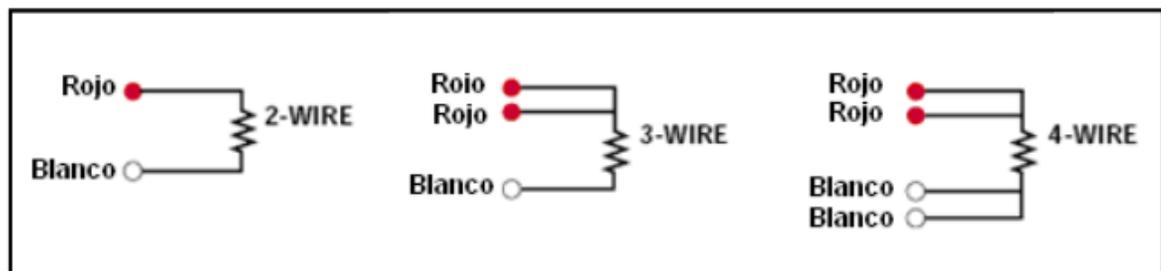
Figura 10. Soporte del sensor en un SPRT.



Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 61p.

- **Estabilización de los termómetros de resistencia:** Los valores de la resistencia del platino pueden variar si se presentan impurezas como la oxidación, lo cual requiere que periódicamente se realicen comprobaciones a temperaturas que generalmente son de 0 grados Celsius. [1]
- **Terminales de los termómetros de resistencia:** Con el propósito de disminuir el error en la medición en los conductores internos y externos debido a su resistencia, los termómetros de resistencia son elaborados con 2,3 y 4 puntas de salida. Ver figura 11. [1]

Figura 11. Terminales de un termómetro de resistencia.



Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 62p.

Fuentes de error en la medición con termómetros de resistencia

- **Auto calentamiento:** Debido a la corriente que circula por la resistencia para su determinación (aproximadamente de 1 mA), se presenta un calentamiento adicional. [1]
- **Resistencia de fugas:** Se presenta cuando los alambres no están aislados adecuadamente, o por presencia de humedad en el sensor. [1]
- **Efectos termoeléctricos:** Las conexiones entre el sensor y los conductores internos y externos crean fuerzas termoeléctricas. [1]
- **Esfuerzos mecánicos:** Falta de libertad del sensor para expandirse. En el alambre de platino choques o vibraciones. [1]
- **Efectos de radiación:** Se genera un error sistemático cuando la cubierta del termómetro es transparente a la radiación externa del sensor, ya que este absorbe o irradia energía. [1]
- **Profundidad de inmersión:** Se presenta cuando la inmersión dada al termómetro en la medición no es suficiente. Para conocer la profundidad de inmersión, se introduce el termómetro en un baño a temperatura uniforme hasta que no cambie la lectura de este. [1]
- **Ecuación de Interpolación:** La relación entre la resistencia y la temperatura, según la norma ASTM E 1137-97 da la siguiente ecuación:
-200 °C ≤ t ≤ 650 °C: [1]

$$R(t) = R_0 [1 + At + Bt^2 + Ct^3 (t -100)] \quad (5.2)$$

donde R (t) = Resistencia a la temperatura t

$R_0 = 100 \Omega$, resistencia a 0 °C

$A = 3.9083 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

$B = -5.775 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$

$C = -4.183 \times 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4}$

Con C=0 para t ≤ 0 °C, como se describe en la norma IEC 751 – 1995 hasta los 650 °C. Ver figura 12.

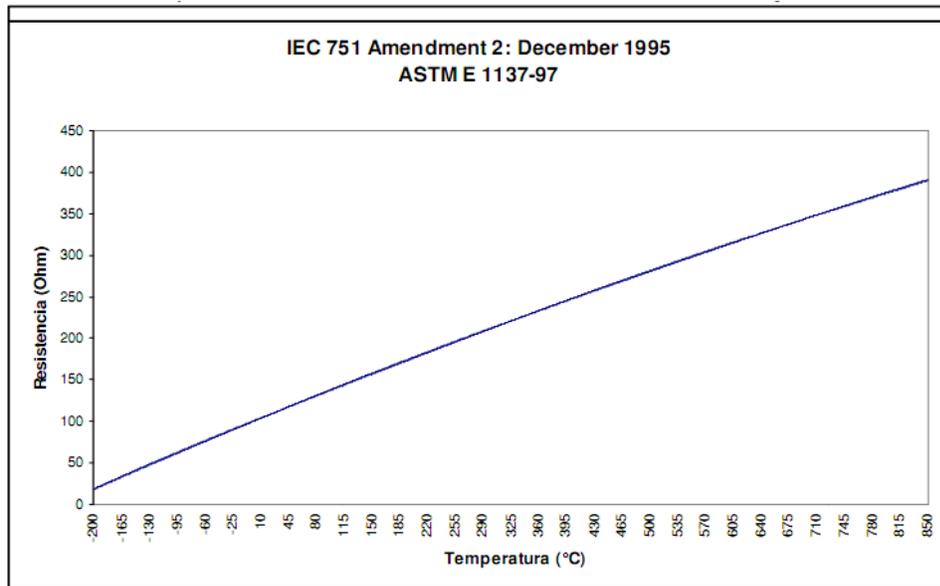
- **Tolerancia:** Las tolerancias según la norma ASTM E 1137 – 97 son: [1]

$$\text{Clase A} = \pm [0,13 + 0,0017 | t |], \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.3)$$

$$\text{Clase B} = \pm [0,25 + 0,0042 | t |], \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.4)$$

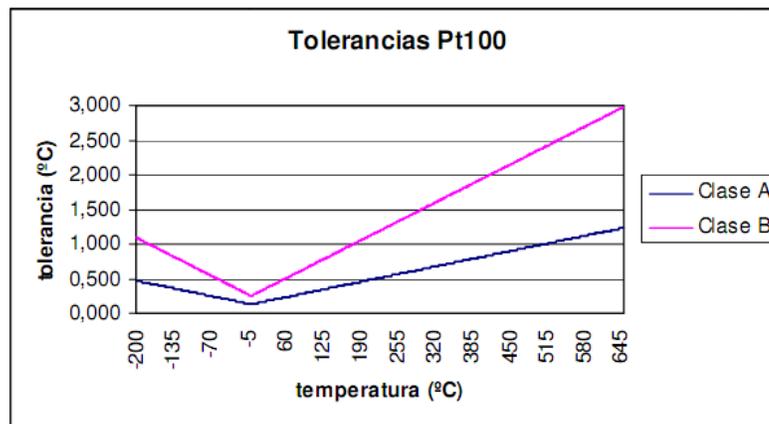
donde, $|t|$ hace referencia al valor absoluto de la temperatura como se puede ver en la figura 13.

Figura 12. Comportamiento resistencia vs temperatura para una RTD Pt100, según las normas IEC 751 – 1995 y ASTM E 1137 – 97.



Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 64p.

Figura 13. Tolerancias de una Pt100.



Medición de la resistencia

Termistores

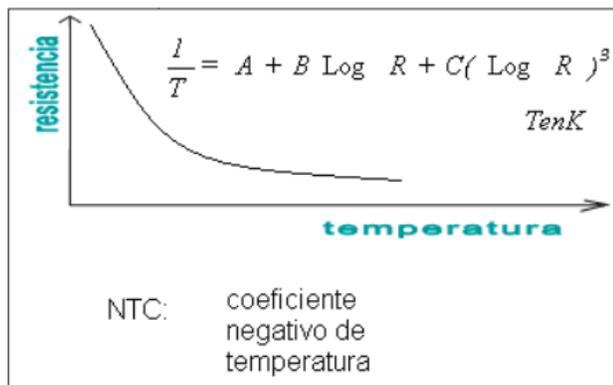
Ventajas:

- Alta sensibilidad
- Tamaño reducido
- Respuesta rápida
- Medición dos puntas

Desventajas:

- No lineal
- Rango de medición limitado: -80 °C a 150 °C
- Fragilidad
- Elemento pasivo, requiere fuente de corriente
- Auto calentamiento [1]

Figura 14. Resistencia vs temperatura en un termistor.



6. TERMOPARES (TERMOCUPLAS)

Es un sensor eléctrico de temperatura ampliamente utilizado por su rango amplio que va desde los $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta los $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ y versatilidad facilitan la medición de temperatura. [1]

6.1. LEYES TERMOELÉCTRICAS

6.1.1. Ley de los circuitos homogéneos

Circuito cerrado con un único y homogéneo conductor, no se puede generar corriente a partir del calor. Si se llegara a detectar una corriente, esto quiere decir que el material no es homogéneo. [1]

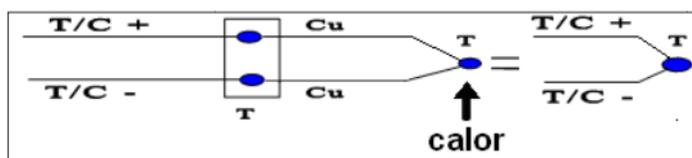
6.1.2. Ley de los metales intermedios

Cuando en los extremos de un conductor homogéneo no existe diferencia de temperatura, la FEM a través de este será cero. [1]

6.1.3. Cable de extensión

Cuando la junta fría debe quedar retirada del sitio de medición y no se puede utilizar cable termopar, se extienden los termo-hilos del termopar con un cable de extensión hasta este sitio. Este cable de extensión debe tener idénticas propiedades termoeléctricas del termopar.[1]

Figura 15. Ley de los metales intermedios.



Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 79p.

6.2. MEDICIÓN DE LA FEM DE LOS TERMOPARES

6.2.1. Medidor por deflexión

No poseen buena exactitud, pero son ampliamente utilizados en mediciones de temperaturas en entornos industriales. Poseen un galvanómetro con una aguja móvil en una escala ya sea dada en mV ó en grados Celsius. La cantidad de corriente que hace desplazar a la aguja es producida por la FEM del termopar conectado al galvanómetro. [1]

Tabla 6. Temperaturas de trabajo de los cables de extensión de termopares.

TIPO	RANGO
J	0 °C a 200 °C
K	0 °C a 200 °C
T	-60 °C a 100 °C
E	0 °C a 200 °C
R	0 °C a 150 °C
S	0 °C a 150 °C
B	0 °C a 100 °C

Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 82p.

6.2.2. Voltímetros digitales

Ampliamente utilizados en diversos entornos para la medición de la FEM de los termopares. Poseen una alta impedancia de entrada. Se puede obtener una alta resolución, exactitud y facilidad de manejo. Las lecturas se dan en mV cuando exigen una alta exactitud en la lectura. [1]

6.2.3. Potenciómetros

Son usados en las mediciones de más alta exactitud para la medición de la FEM del termopar, la incertidumbre es mínima. [1]

6.2.4. Termopares estandarizados

Solo existen siete termopares estandarizados para medir temperaturas en diferentes ambientes. Ver tabla 7. [1]

Tabla 7. Lista de termopares estandarizados.

TERMOPAR	MATERIAL CONDUCTOR	RANGO
J	Fe (+) Cu-Ni (-)	-210 °C a 1200 °C
K	Ni-Cr (+) Ni-Al (-)	-270 °C a 1372 °C
T	Cu (+) Cu-Ni (-)	-270 °C a 400 °C
E	Ni-Cr (+) Cu-Ni (-)	-270 °C a 1000 °C
R	Pt – 13%Rh (+) Pt (-)	0 °C a 1768 °C
S	Pt – 10%Rh (+) Pt (-)	-50 °C a 1768 °C
B	Pt – 30%Rh (+) Pt – 6%Rh (-)	0 °C a 1820 °C

Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 78p.

- **Termopar tipo J (Hierro, Cromo y Níquel):** Debido a que posee una alta sensibilidad y un bajo costo, es uno de los termopares más usados junto con su contraparte tipo K. El termoelemento JP está compuesto de 95% hierro y de otras impurezas como el carbono, cobre, cromo y manganeso. El termoelemento tipo JN combina un 50% de cobre con un 45% de níquel. Se recomienda el uso del termopar tipo J para medidas entre los 0 °C y los 760 °C en vacío. [1]
- **Termopar tipo K (Níquel-Cromo, Níquel-Aluminio):** Su termoelemento positivo KP, está compuesto en su mayoría por níquel (90%), cromo (9%) y silicio-hierro (0.5%). El termoelemento negativo (KN) está compuesto por un 95% de níquel y silicio, aluminio y cobalto en pequeñas cantidades. Su uso va desde los - 250 °C y 1 260 °C, en atmosferas inertes. [1]
- **Termopar tipo S (Platino-10 % Rodio, Platino) :**Las ventajas del termopar tipo S es su capacidad para medir temperaturas altas, su estabilidad y su reproducibilidad. El termoelemento positivo debe ser fabricado de una aleación de rodio y platino con purezas del 99.98% y 99.99% respectivamente según la norma ASTM E 1159 – 87. El termopar tipo S puede utilizarse desde - 50 °C hasta casi 1768 °C. [1]

7. SISTEMA DE ASEGURAMIENTO METROLÓGICO

7.1. GUÍA DE UN PROGRAMA DE ASEGURAMIENTO METROLÓGICO

Un programa metrológico se podría establecer alrededor de dos enfoques

7.1.1. Control del programa:

Esta orientación controla los elementos del sistema de calibración en los cuales se encuentran los procedimientos, instructivos, especificaciones, intervalos de calibración, equipos de control, entre otros, Asegurando que las incertidumbres obtenidas no excedan las tolerancias permitidas.

7.1.2. Aseguramiento de las mediciones:

Este método tiene como objeto el control de calidad, que incluye el establecimiento y mantenimiento del sistema de procedimientos enfocados a determinar incertidumbres de medición basados en la observación de los resultados obtenidos durante el proceso o en el producto final.

Muchos laboratorios han evolucionado con el tiempo e implementado sistemas de medición que contienen elementos correspondientes a los dos enfoques, adaptados a las diferentes metodologías de trabajo.

7.2. TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES

La trazabilidad se usa cada vez más para demostrar la integridad de las comparaciones realizadas y al mismo tiempo demostrando lo que se viene comparando. Los instrumentos patrones muchas veces son afectados por las condiciones atmosféricas, de humedad, temperatura, etc., la visualización de estos cambios se da con la relación entre las mediciones y su trazabilidad [31].

La trazabilidad en las mediciones es un parámetro muy importante dentro de los procesos de medición o comparación, ya que esta se encuentra involucrada dentro de bastos sistemas.

El concepto de trazabilidad se materializa en cuanto se conocen las relaciones entre las mediciones y los patrones en jerarquía ascendente. Este es un momento en el que los grados de incertidumbre son conocidos y aceptados por las partes interesadas en el proceso.

Por último se puede ver que la trazabilidad no es la propiedad o la cualidad de un patrón, de un instrumento de medición o de un laboratorio, sino el resultado de un proceso que involucra instrumentos y laboratorios, o dicho de otra forma es una propiedad del resultado de una medición.

7.3. INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN

La incertidumbre de una medida se puede definir como el valor de un intervalo generalmente simétrico, dentro del cual se encuentra con alta probabilidad, el valor verdadero de la magnitud medida. A este concepto no se le puede otorgar por si solo un valor cuantitativo, ni calificarlo como grande o pequeño, ya que es imposible un conocimiento exacto de todas las causas de incertidumbre y las circunstancias en las cuales se efectuaron las mediciones. En la incertidumbre se distinguen dos métodos principales para cuantificar las fuentes, estos son:

- **Tipo A:** está basado en un análisis estadístico de una serie de mediciones

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 , el mejor estimado x_i para el valor de X_i es la media de los resultados individuales:

$$x_i = \bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n q_j \quad (7.1)$$

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:

$$s(q) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2} \quad (7.2)$$

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

$$u(x_i) = s(\bar{q}) = \frac{s(q)}{\sqrt{n}} \quad (7.3)$$

Así que resulta para la incertidumbre estándar de X_i :

$$u(x_i) = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2} \quad (7.4)$$

Para una medición que se realiza por un método bien caracterizado y con condiciones controladas, es razonable suponer que la distribución (dispersión) de los q_j no cambia, es decir, que se mantiene prácticamente igual para mediciones realizadas en diferentes días, por distintos metrologos, etc. (esto es, la medición está bajo control estadístico). En este caso, la componente de la incertidumbre puede ser más confiablemente estimada con la desviación estándar **sp obtenida de un solo experimento anterior**, que con la desviación estándar experimental $s(q)$ obtenida por un número n de mediciones, casi siempre pequeño, según la ecuación. (7.2).

La incertidumbre estándar de la media se estima en este caso por:

$$u(x_i) = \frac{s_p}{\sqrt{n}} \quad (7.5)$$

Cabe mencionar que n es el número de mediciones repetidas para evaluar $x_i = q$, según la ecuación (6.1), mientras s_p se determinó por un número distinto (y grande) de mediciones. [33]

- **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.

Las causas de incertidumbre se pueden clasificar de la siguiente forma:

7.3.1. Debido a la magnitud que se mide:

- Inestabilidad de la magnitud a medir: En ocasiones la magnitud a medir no permanece constante sino que varía con el tiempo, por ejemplo una determinada cota en un material plástico.
- Influencia de las condiciones externas: La mayoría de las magnitudes son sensibles a las condiciones externas, como las ambientales, por ejemplo la resistencia eléctrica con la temperatura del material.
- Otros errores de la pieza: Así por ejemplo errores de forma pueden afectar en la medida de una cota.

7.3.2. Debido al instrumento de medida

Los instrumentos de medida siempre tienen imperfecciones mecánicas, físicas, fisicoquímicas, eléctricas o atómicas que hacen que las medidas realizadas por ellos tengan cierta incertidumbre inherente. La incertidumbre debido al instrumento de medida se puede dar por:

- Imperfecciones propias del instrumento.
- Condiciones externas que afecten al instrumento. (Campos electromagnéticos, contaminación atmosférica, presencia de material radiactivo.)

7.3.3. Debido a las correcciones

Existen muchos tipos de correcciones que se introducen en la medida como por ejemplo, por temperatura, desviaciones conocidas del instrumento, etc. Es importante destacar que toda la corrección lleva asociada una incertidumbre, aun en el caso particular que esa corrección sea cero.

7.3.4. Por procedimiento de medida

Son muchas las causas de incertidumbre ligadas al procedimiento de medida, en algunos casos deben ser consideradas como faltas y no como componentes de incertidumbre

Se destacan las siguientes:

- Paralaje

- Posicionamiento de la pieza
- De alineación

7.3.5. Calculo de la incertidumbre

Para el desarrollo de una expresión práctica se parte de los supuestos siguientes:

La fuente principal de incertidumbre es la debida al instrumento de medida

- Existen fuentes de incertidumbre aleatorias, tipo A
- La única componente de incertidumbre tipo B es la debida al patrón. En el caso que existieran otras incertidumbres de tipo B, como corrección por temperatura, procedimiento, desviaciones del instrumento, etc., se deberían sumar cuadráticamente
- El instrumento se emplea en condiciones análogas a las que se calibra

En la calibración, un instrumento se compara contra un patrón de valor conocido, se hallan las desviaciones de las indicaciones del instrumento con respecto al patrón y se corrigen dichas desviaciones.

Dado que la corrección lleva asociada una incertidumbre, aun en el caso particular que la corrección sea cero; esta incertidumbre es la que se obtiene en la calibración del instrumento y es de aplicación en la posterior utilización del mismo.

Para la mejor comprensión del desarrollo de la expresión, se seguirán los mismos pasos que se siguen en la calibración, aunque cuando se calibra el instrumento, en la práctica solo se emplea la expresión matemática que resulta al final

El proceso a seguir para la calibración de un instrumento en un punto de su escala de medida es el siguiente.

- Medir n veces un patrón de valor e incertidumbre conocidos.
- Calcular los estimados estadísticos X,
- Corregir las desviaciones sistemáticas
- Calcular el valor de la incertidumbre de dichas correcciones.

La incertidumbre de una medida, con todos los supuestos realizados al principio, debido al instrumento en un punto cercano al de calibración, viene dada por la siguiente expresión:

$$I = [29] \quad (7.6)$$

Notas:

- El parámetro puede ser, por ejemplo una desviación estándar (o un múltiplo dado en ella), o la semi-longitud de un intervalo que tenga un nivel de confianza determinado.
- En general, la incertidumbre de la medición comprende varios componentes. La distribución estadística de los resultados de series de mediciones se pueden usar para evaluar algunos de estos componentes, que se pueden caracterizar mediante desviaciones estándar experimentales. Los otros componentes, que también se pueden caracterizar mediante desviaciones estándar, se evalúan a partir de distribuciones de probabilidad supuestas basadas en la experiencia o en otra información. [32]
- Para poder garantizar un rango de incertidumbre sobre un periodo de tiempo dado al efectuar una sola medición y certificar que esta se mantiene dentro de niveles aceptados, es necesario efectuar verificaciones periódicas utilizando patrones superiores, que nos midan la variación. Cabe anotar, que la incertidumbre de una medición no puede ser garantizada si no existe trazabilidad de la medición.

7.4. NIVELES DE CALIDAD

Los niveles de calidad también llamados niveles de confianza, son componentes claves en el diseño de un sistema de aseguramiento metrológico, para ello se realiza un porcentaje de instrumentos de medición fuera de tolerancia permitida, cuando los instrumentos retornan para calibración, estos pueden ser extrapolados para inferir la posibilidad de que un instrumento sea encontrado dentro de tolerancias durante cualquier momento de su uso.

Este establecimiento de los niveles tolerables de las ocurrencias de instrumentos por fuera de tolerancia se basa en nivel deseado de calidad para el sistema de medición y los radios de exactitud. Se debe desarrollar implementar un algoritmo de ajuste de los intervalos de calibración, para mantener el nivel de calidad deseado.

Cuando un instrumento de medición es recalibrado, deberá efectuársele el mismo procedimiento que se le efectuó durante su primera calibración. Si se encuentra fuera de tolerancia en uno de sus parámetros de calibración, debe ajustarse de nuevo a su condición original dentro de tolerancia.

El análisis de los datos encontrados dentro de tolerancias, mas no en el valor nominal, sirven para definir el grado de criticidad que estos instrumentos van a tener en futuras calibraciones de la cadena de medición. Esta condición puede incrementar las posibilidades de que sean encontrados fuera de tolerancia en una futura calibración, sin

embargo se dice que los instrumentos que se encuentran dentro de las tolerancias permitidas no requieren ser ajustados al valor original excepto por fallas del mismo instrumento como desgastes mecánicos y envejecimiento del mismo. [29]

7.5. PROGRAMAS DE ASEGURAMIENTO METROLÓGICO.

Los principios de aseguramiento de la calidad se aplican al aseguramiento metrológico tanto en el laboratorio de metrología como a toda la extensión de la cadena de medición, es importante tener en cuenta el control de las mediciones realizadas durante un proceso, una prueba o cualquier actividad de mantenimiento ya que esto permite asegurar la calidad de las mediciones que a diario hacemos, la organización ISO ha dado unas pautas establecidas en las normas ISO 17025 “requisitos de aseguramiento de la calidad para equipos de medición”, parte 1 “sistema de confirmación metrológica para equipos de medición” y parte 2 “control de medición en procesos”.

El aseguramiento de la calidad debe estar apoyado por un sistema de confirmación metrológica, ya que este garantiza que las mediciones indicadas por los instrumentos de medición se encuentren dentro de las tolerancias permitidas por el mismo.

Dentro del sistema mencionado se deben incluir todos aquellos instrumentos y equipos cuyos resultados de otra forma afecten la calidad del producto, la seguridad humana y de las plantas y equipos o incidan en el deterioro del medio ambiente.

Para su desarrollo se deben tener en cuenta como mínimo las siguientes estrategias:

7.5.1. Capacitación del personal

Todo proceso productivo gira en torno a las personas, es por ello que el personal encargado de implementar el sistema deberá ser capacitado por una entidad calificada, esta capacitación deberá llevarse a cabo en diferentes niveles de especialización, requiriendo personal con responsabilidades a nivel profesional para la administración del sistema y personal técnico para la preparación y ejecución de labores de calibración y mantenimiento. El resto de personal deberá ser capacitado a nivel informativo, fomentando la cultura metrológica.

7.5.2. Inventario de equipos

Es necesario realizar un inventario detallado de equipos e instrumentos involucrados en el proceso para que la verificación o calibración pueda hacerse como una cadena de medición y no individualmente, de esta manera se evitara errores en el proceso

7.5.3. Programa de calibración

Dentro del proceso de calibración, los intervalos del mismo varían y solo el personal con experiencia podrá definir los parámetros que se utilizarán para cada instrumento o equipo. Para definir los intervalos de calibración pueden ser utilizados los siguientes métodos:

- Método automático o de escalera: Este método asigna un periodo inicial, calibra al final del mismo y por último evalúa el comportamiento del instrumento. Esta evaluación reasigna un nuevo periodo de calibración.
- Método gráfico de control: Se analizan los datos obtenidos a través del tiempo de acuerdo con márgenes prefijadas de variación permitida y se toman decisiones respecto a la calibración o mantenimiento de los instrumentos o equipos. Para este método es muy importante conocer con exactitud las variaciones que permite el proceso y definir que parte de este se puede delegar a los instrumentos de medición antes de realizar la recalibración.
- Método del tiempo calendario: Se calibra en periodos fijos, los cuales son asignados por la experiencia de calibraciones anteriores, o recomendaciones hechas por el fabricante del instrumento.

7.5.4. Selección de patrones

Los patrones de calibración juegan un papel muy importante en un sistema de aseguramiento metrológico, ya que son estos los que van a garantizar la trazabilidad y en parte la exactitud de las mediciones que realizamos dentro del proceso productivo.

Estos patrones deberán estar clasificados como patrones primarios de la empresa y patrones secundarios o de trabajo, manteniendo una jerarquía definida entre los unos y los otros, conservando en lo posible un ratio de exactitud de 1:4, hasta 1:10 veces mejor en el patrón que en el instrumento de prueba.

Los patrones primarios generalmente son calibrados en laboratorios de metrología con un orden jerárquico más alto que el laboratorio de metrología de la empresa correspondiente, el cual garantice la trazabilidad a patrones de jerarquía nacional e internacional.

7.5.5. Procedimientos de calibración

Para garantizar la estabilidad y la reproducibilidad de las calibraciones, es indispensable documentar los métodos de calibración de los instrumentos y equipos, para proveer a los

instrumentistas y metrólogos con algoritmos paso a paso de las secuencias de calibración.

Estos procedimientos son también una herramienta importante durante el proceso de entrenamiento de nuevos técnicos en calibración, al mismo tiempo que ayudan a eliminar los posibles errores que pueden derivarse del uso de diferentes técnicas calibración, condiciones ambientales o la utilización de patrones de rangos y exactitudes inadecuadas.

Los procedimientos de calibración se pueden abreviar tomando como base aquellos sugeridos por los fabricantes de los equipos o instrumentos siempre y cuando estos sean adecuados para las circunstancias no obstante los procedimientos ya sean propios o recomendados por el fabricante deberán tenerse disponibles y actualizados para ser usados por el personal de calibración.

7.5.6. Mantenimiento de datos de calibración

Los datos de calibración se convierten en las evidencias objetivas de que las calibraciones fueron efectuadas de acuerdo con los procedimientos definidos, que las normas de fabricación se cumplen y que la exactitud de los equipos e instrumentos de pruebas se mantiene.

Los datos de calibración de equipos e instrumentos deben mantenerse en cualquier método conveniente, y estos deberán contener como mínimo la siguiente información:

- Identificación del equipo
- Instrumento
- Historial
- Exactitud
- Localización
- Intervalo de calibración
- Próxima fecha de calibración
- Procedimiento de calibración
- Reporte de calibración
- Historia de mantenimiento y reparación

7.5.7. Sistema de control de mediciones

A través de los años las organizaciones han venido desarrollando sistemas encaminados al aseguramiento de la calidad de los productos, a mantener los costos de producción

bajos y a mejorar el cumplimiento de los programas trazados el control y la calibración de los instrumentos de medición hacen parte de estos sistemas gerenciales.

La tarea de medición es una tarea delicada dentro del proceso de producción y de vida de un producto. A lo largo de un programa de medición tenemos un círculo de preguntas permanentes que debemos hacer:

- Es necesario medir este punto?
- Es necesario medir con determinada exactitud?
- Se está midiendo bajo condiciones ambientales aceptables en el punto de medición?
- Se está manteniendo los costos a un nivel optimo a pesar de lo estricto de las mediciones para cumplir con especificaciones?

La respuesta incorrecta a estas preguntas y ende la toma de decisiones erróneas pueden llevar a la frases de producción y a los usuarios adoptar procesos de medición innecesarios y sumamente costosos.

Para en la participación de un grupo multidisciplinario en donde participen, el usuario de la planta, ampliamente conocedor del proceso y de las normas técnicas que rigen su fabricación, el personal encargado del mantenimiento de equipos e instrumentos de medición, un representante de laboratorio donde se realizan las pruebas del calidad del producto final y durante el proceso y un metrólogo con experiencia en instrumentación y sistemas de medición.

8. CONDICIONES PARA EL PROCESO DE ACREDITACIÓN

El seguimiento de la norma NTC/ISO-17025 asegura un alto nivel de calidad y confiabilidad del laboratorio, a continuación se exponen los pasos más importantes que se deben tener en cuenta en la implementación del laboratorio y en el proceso de calibración de la variable temperatura.

- **Gestión de calidad**

El laboratorio debe estar legalmente creado, donde se definan procedimientos de control, procesos de operación y recursos tanto económicos como humanos y técnicos.

- **Política de calidad**

Es necesario establecer dentro del laboratorio políticas de calidad que cumplan con la norma, respecto a su compromiso con la calidad, servicios, propósitos, documentación y mejoramiento continuo. Dentro de la documentación se deben tener en cuenta los aspectos como:

- ✓ Manual de calidad
- ✓ Métodos generales
- ✓ Métodos operativos
- ✓ Diagramas e instructivos
- ✓ Documentos externos
- ✓ Registro

- **Personal**

Se debe asegurar la competencia de todo el personal y capacitaciones constantes, desde los que realicen las calibraciones, hasta los que redactan los informes y evalúan resultados.

- **Instalaciones**

Para las instalaciones del laboratorio es preciso contar con disposición de espacio para los equipos que se utilizarán en las calibraciones, fuentes de energía, mesas rígidas y excelentes condiciones ambientales que garanticen una correcta calibración.

- **Condiciones ambientales**

La temperatura en el laboratorio es de vital importancia, ya que asegura una mejor calibración y la fiabilidad de los equipos patrones.

- **Métodos de calibración**

Se deben utilizar métodos y procedimientos apropiados para las calibraciones, donde se incluya la manipulación, almacenamiento y preparación de los instrumentos a calibrar y de los instrumentos patrones.

Los procedimientos de calibración deben satisfacer lo requerido por el usuario, apoyado en normas nacionales e internacionales asegurándose de aplicar la última versión disponible de cada documento.

- **Equipos de medición**

Los equipos y software que se utilicen para la calibración, deben lograr la exactitud requerida y cumplir con las especificaciones del instrumento a calibrar. Antes de que un equipo se ponga en funcionamiento, este deberá ser verificado y manipulado por el personal autorizado.

Se deben tener claros los procedimientos para la manipulación, el transporte y el mantenimiento de los equipos de medición. Es necesario disponer de un espacio para depositar los instrumentos que se encuentren defectuosos.

Todos los instrumentos deben ser identificados y codificados, incluyendo la información de su última calibración realizada.

- **Trazabilidad de las mediciones**

La trazabilidad de las mediciones se alcanza a través de la calibración. Los patrones utilizados en las calibraciones obtienen su trazabilidad ya sea directamente a través de los laboratorios custodiados por Patrones Nacionales. La acreditación de laboratorios sobre la base de los requisitos de la norma NTC/ISO-17025 contempla la obligatoriedad de alcanzar la trazabilidad de los resultados de las mediciones a las unidades del SI. La trazabilidad de las mediciones se sustenta mediante los siguientes elementos:

- ✓ Una cadena interrumpida de comparaciones
- ✓ La incertidumbre de la medición
- ✓ Referencia a las unidades SI
- ✓ Frecuencia de las calibraciones

- **Recopilación y manipulación de datos**

El laboratorio debe diseñar un procedimiento que defina de manera clara la manipulación, recopilación y procesamiento de los datos obtenidos en las calibraciones, incluyendo todas las disposiciones necesarias para la identificación, especificaciones y el cuidado de cada instrumento. El sistema debe asegurar que los instrumentos no sean confundidos físicamente o al referenciarlos en registros.

- **Aseguramiento de calidad de los resultados de calibración**

Para asegurar la calidad de los resultados de calibración, es recomendable disponer de un procedimiento que permita el control de la calidad y el monitoreo constante de las calibraciones realizadas.

- **Informe de los resultados**

Los resultados obtenidos, deben ser informados de manera clara y exacta de acuerdo con las especificaciones de los métodos que se utilicen en el proceso de calibración, en donde se encuentre toda la información necesaria para la interpretación correcta de los resultados de calibración (como: datos del instrumento, información del método utilizado, incertidumbre, trazabilidad y observaciones).

- **Certificado de calibración**

Los certificados de calibración incluyen la siguiente información:

- ✓ Nombre del laboratorio
- ✓ Número de identificación del certificado
- ✓ Nombre del instrumento
- ✓ Modelo del instrumento
- ✓ Numero de serie
- ✓ Rango de medición
- ✓ Nombre del solicitante
- ✓ Dirección del solicitante
- ✓ Fecha de recepción del instrumento
- ✓ Fecha de calibración del instrumento
- ✓ Número de páginas incluyendo anexos
- ✓ Procedimiento de la calibración
- ✓ Trazabilidad
- ✓ Condiciones ambientales
- ✓ Resultados de la calibración
- ✓ Incertidumbre de medición
- ✓ observaciones
- ✓ Firmas autorizadas

El certificado de medición se relaciona con las magnitudes y resultados de los ensayos, registra todo el proceso de calibración, evidencia de que las mediciones son trazables y mantiene dicha información para referencias futuras.

8.1. ELABORACIÓN DE UN CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

A continuación se muestra un ejemplo de cómo se puede presentar un certificado de calibración, tomando como referencia certificados expedidos por organismos encargados de la calibración de instrumentos de temperatura, en este caso usaremos un termómetro de vidrio como referencia.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS

NÚMERO:

LABORATORIO :

INSTRUMENTO :

MODELO :

NÚMERO DE SERIE :

RANGO DE MEDICIÓN :

SOLICITANTE :

DIRECCIÓN :

FECHA DE RECEPCIÓN DEL INSTRUMENTO :

FECHA DE CALIBRACIÓN :

NÚMERO DE PÁGINAS (INCLUYE ANEXOS) :

CALIBRADO POR:

REVISADO POR:

Descripción del Instrumento:

MARCA		RANGO DE MEDIDA		MÓDELO	
SERIE		CÓDIGO INTERNO		RESOLUCIÓN	

Procedimiento de Calibración:**Trazabilidad:****Condiciones Ambientales:**

TEMP. DEL AIRE		HUMEDAD RELATIVA	
-----------------------	--	-------------------------	--

Resultado de la Calibración:

TEMPERATURA INDICADA DEL INSTRUMENTO PATRÓN	TEMPERATURA INDICADA DEL INSTRUMENTO DE PRUEBA	CORRECCIÓN A LA INDICACIÓN °C	INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN °C

Gráfico:**Incertidumbre de la Medición:****Observaciones:****CALBRADO POR:**

REVISADO POR:

CONCLUSIONES

- Este manual tiene como finalidad suministrar una guía, que permita implementar de manera técnica y precisa, los diferentes métodos de calibración para la variable temperatura. los cuales se basan en normas internacionales avaladas por estamentos regidores de esta ciencia.
- La importancia de la calibración, radica en el gasto eficiente de los recursos necesarios que se utilizan en cualquier tipo de proceso y ello se ve reflejado en beneficios económicos, sociales y culturales, que arroja esta buena práctica, además de obtener una respuesta alta calidad.
- Cuando se requiere de la calibración de instrumentos en los diferentes procesos industriales, es indispensable definir cuán importante es la variable a calibrar y la severidad con que esta se haga, ya que esta debe justificar los diferentes costos que conlleva el proceso de calibración.
- La implementación de este tipo de manual, en un país en aras de desarrollo como Colombia, le brinda a cualquier entidad la posibilidad de ser competente en la rama de la medición, obteniendo resultados confiables y garantizando la estabilidad de sus instrumentos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 2010. 111p.
- [2] TERMÓMETROS MÁS UTILIZADOS. Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 2010. 12p.
- [3] PICADO, Ana Beatriz. Química I: Introducción al Estudio de la Materia. Primera Edición. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. 2008. Capítulo 1. 17p.
- [4] KOTZ, John C.; TREICHEL, Paul M.; WEAVER, Gabriela C. Química y reactividad química. Cengage Learning Editores. 2005. Capítulo 1. 16p.
- [5] GIANCOLI, C. Douglas. Física, principios con aplicaciones. Sexta Edición. Pearson Education. Mexico, 2006. 356p.
- [6] PUNTOS FIJOS DE LA ESCALA INTERNACIONAL DE TEMPERATURA. Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 2010. 16p.
- [7] COMO CALIBRAR EN TEMPERATURA. [Página de Internet] http://www.inymet.com.mx/web_inymet/ingenieria_y_metrologia/informacion/info/Como_Calibrar_en_Temperatura.pdf [Consulta: 2011-02-02]
- [8] CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE TEMPERATURA. [Página de Internet] <http://www.industriaynegocios.cl/Academicos/AlexanderBorger/Docts%20Docencia/Seminario%20de%20Aut/trabajos/2004/Calibraci%C3%B3n/CALIBRACION%20DE%20INSTRUMENTOS%20DE%20TEMPERATURA.htm> [Consulta: 2011-02-02]
- [9] PARTES DEL TERMÓMETRO DE VIDRIO. Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 2010. 111p.
- [10] PROFUNDIDAD DE INMERSIÓN DE UN TERMÓMETRO DE VIDRIO. Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 2010. 111p.

- [11] TERMÓMETRO DE VIDRIO DE OCLUSIÓN Y DE BARRA. Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 2010. 111p.
- [12] TERMÓMETRO DE MÁXIMA – MÍNIMA. Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 2010. 111p.
- [13] PUNTO DE HIELO O PUNTO DE CRIOSCÓPICO. Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 2010. 111p.
- [14] RAPIDEZ DE CAMBIO DE LA TEMPERATURA EN LOS BAÑOS. Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 2010. 41p.
- [15] DIFERENCIA ENTRE LA TEMPERATURA DEL BAÑO Y LA DE CALIBRACIÓN. Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 2010. 41p.
- [16] CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE VIDRIO. Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 2010. 111p.
- [17] TERMÓMETRO SPRT DE CUELLO LARGO Y DE CÁPSULA. Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 2010. 111p.
- [18] DETALLE DE CONSTRUCCIÓN DE IN IPRT. Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 2010. 111p.
- [19] TUBOS DE PROTECCIÓN PARA TERMÓMETROS DE RESISTENCIA. Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 2010. 60p.
- [20] CONEXIÓN ENTRE CONDUCTORES INTERNOS Y EXTERNOS EN UN SPRT. Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 2010. 111p.
- [21] SOPORTE DEL SENSOR EN UN SPRT. Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 2010. 111p.
- [22] TERMINALES DE UN TERMÓMETRO DE RESISTENCIA. Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 2010. 111p.
- [23] COMPORTAMIENTO RESISTENCIA VS TEMPERATURA PARA UNA RTD PT100, SEGÚN LAS NORMAS IEC 751 – 1995 Y ASTM E 1137 – 97.

- Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 2010. 111p.
- [24] TOLERANCIA DE UNA PT100. Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 2010. 111p.
- [25] RESISTENCIA VS TEMPERATURA EN UN TERMISTOR. Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 2010. 111p.
- [26] LEY DE LOS METALES INTERMEDIOS. Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 2010. 111p.
- [27] TEMPERATURAS DE TRABAJO DE LOS CABLES DE EXTENSIÓN DE TERMOPARES. Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 2010. 111p.
- [28] LISTA DE TERMOPARES ESTANDARIZADOS. Superintendencia de Industria y Comercio. Pasantía en Temperatura. Primera Edición. 2010. 78p.
- [29] CORTES, William. Laboratorio de Metrología. INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETROLEO (I.C.P). Basado en: C. D. Ehrlich, S. D. Rasberry, Metrological Timelines and traceability, Journal of Research of the National Institute of Standards and technology, Volume 103, Number 1, January – February 1998.
- [30] METROLOGÍA. [Página de Internet] <http://www.sic.gov.co/index.php?idcategoria=12536> [Consulta: 2011-02-02]
- [31] ORGANISMO NACIONAL DE ACREDITACIÓN DE COLOMBIA – ONAC [Página de Internet] <http://www.onac.org.co/modulos/contenido/default.asp?idmodulo=242> [Consulta: 2011-02-02]
- [32] MARBAN, Rocío M. PELLECCER, Julio A. Metrología para no metrologos. Segunda Edición. 2002.
- [33] SCHMID, Wolfgang A. LAZOS, Rubén J. Guía para estimar la incertidumbre de medición. Revisión 1. Publicado por el Centro Nacional de Metrología CENAM, México, Abril de 2004.
- [34] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC).Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Norma técnica colombiana NTC-ISO/IEC 17025, 2005-10-26.

- [35] CUANDO LA TEMPERATURA ES IMPORTANTE, AADECA (Asociación Argentina de control automático). Capítulo 13. 1998
- [36] KOTZ, John C.; TREICHEL, Paul M.; WEAVER, Gabriela C. Química y reactividad química. Cengage Learning Editores. 2005. Capítulo 1.

ANEXOS

ANEXO 1. TRABAJO DE CAMPO REALIZADO EN EL LABORATORIO DE METROLOGÍA DEL INSTITUTO COLOMBIANO DE PETRÓLEOS (ICP)

La práctica realizada en el laboratorio consistió en la calibración de 2 instrumentos de temperatura, esto con el fin de dar a conocer procedimientos y métodos de medición para tener una idea en la implementación de los procesos de calibración de la variable temperatura en el laboratorio. A continuación se muestra paso a paso el proceso que se siguió para cada instrumento

Termómetro de resistencia de platino

- **Instrumento a calibrar:** RTD (Resistance Temperature Detector) o también conocido como termómetro de resistencia de platino
- **Instrumento patrón:** SPRT (Standard Platinum Resistance Thermometer) o también llamado como termómetro de Resistencia platino patrón
- **Especificaciones del instrumento patrón:**
 - ✓ Intervalo de uso de -200°C hasta 1000°C .
 - ✓ Versiones de 0,25; 2,5; 25,5 y 100 W.
 - ✓ Muy estable y exacto.
 - ✓ Incertidumbres desde $0,001^{\circ}\text{C}$ hasta $0,01^{\circ}\text{C}$.
 - ✓ Exactitud: $\pm 0,013^{\circ}\text{C}$
- **Condiciones ambientales:**
 - Temperatura: $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$
 - Humedad relativa: $50\% \pm 15\%$
- **Procedimiento de calibración:**

El método usado para la calibración del instrumento fue por comparación, el cual consistió en comparar las lecturas del termómetro bajo prueba contra las lecturas de un termómetro patrón, (en este caso se compararon con dos patrones) cuando están inmersos en un mismo medio a la misma temperatura.

- **Resultados de la calibración**

Los datos obtenidos en cada una de las mediciones, fueron los siguientes:

N.	PATRÓN 1	PRUEBA	PATRÓN 2
1	49.994	119.394Ω	49.993
2	49.995	119.433 Ω	49.994
3	49.993	119.392 Ω	49.993
4	49.994	119.432 Ω	49.993
PROMEDIO	49.994	119.403 Ω	49.99325

La siguiente información fue adquirida a través de un software manejado en el I.C.P.

- ✓ Datos del instrumento de prueba convertidos en grados: 50.153°C
- ✓ Promedio de los patrones: 49.9936
- ✓ Error: 0.0217

Según la norma ASTM E1137 sobre la clasificación de tolerancias, se establecen dos clases de tolerancias que relacionan la temperatura con la resistencia. Esta especificación está escrita para proporcionar una terminología común de resistencia frente a la temperatura, teniendo en cuenta la clasificación, precisión y requisitos de configuración de un típico termómetro de resistencia de platino.

Grado A = $\pm [0.13 + 0.0017|T|]$ = ± 0.13

Grado B = $\pm [0.25 + 0.0042 |T|]$ = ± 0.25

Dado que el error nos dio 0.0217, entonces se clasifica la tolerancia como grado A.

- **Trazabilidad**

El patrón usado en la calibración fue termómetro de Resistencia platino patrón digital, certificado y fecha de calibración: no fueron mostrados en la práctica.

- **Incertidumbre de la medición**

El valor de la incertidumbre de calibración está calculado para un nivel de confianza de 95.45% y con un factor de cubrimiento $k=2$.

Termómetro de vidrio

- **Instrumento a calibrar:** Termómetro de líquido en vidrio
- **Modelo:** No identificado
- **Rango de medición:** -35°C a 50°C
- **Condiciones ambientales:**
Temperatura: 22.1°C \pm 0.3°C

Humedad relativa: 50% \pm 15%

- **Procedimiento de calibración:**

Para la calibración se empleó el método de comparación directa de las indicaciones de temperatura del instrumento en calibración con las indicaciones del patrón dentro del medio isoterma estable. Para la siguiente calibración se tomaron valores de: 4°C, 20°C y 50°C

- **Resultados de la Calibración**

N.	INSTRUMENTO PATRÓN	INSTRUMENTO DE PRUEBA
1	4.3	4.3
2	20.3	20.4
3	50.3	50.9

- **Trazabilidad**

El patrón usado en la calibración fue termómetro digital de referencia, marca fluke, modelo 5411, certificado de calibración: 1681.02, fecha de calibración: 2010-06-04

- **Incertidumbre de la medición**

El valor de la incertidumbre de calibración está calculado para un nivel de confianza de 95.45% y con un factor de cubrimiento $k=2$.

- **Observaciones**

El instrumento presenta errores menores a $\pm 2^\circ\text{C}$, tener en cuenta estos resultados para su propósito.

ANEXO 2. TERMÓMETROS DE REFERENCIA

En esta tabla podemos ver las especificaciones de algunos termómetros de referencia para la calibración de temperatura

CLASE DE TERMÓMETRO	ESPECIFICACIONES
Termistor	Intervalo de -20°C a 150°C . Versión de 10 kW Muy estable y exacto. Incertidumbres desde $0,002^{\circ}\text{C}$ hasta $0,01^{\circ}\text{C}$. No es ni tan caro ni tan frágil como el SPRT.
Termopar	Intervalo de 0°C a 1450°C . Hecho de metales nobles. Menos estable y exacto. Incertidumbres típicas de $0,05^{\circ}\text{C}$ a $0,5^{\circ}\text{C}$. Normalmente no es tan caro ni tan frágil como el SPRT.
SPRT (Standard Platinum Resistance Thermometer)	Intervalo de uso de -200°C hasta 1000°C . Versiones de 0,25; 2,5; 25,5 y 100 W. Muy estable y exacto. Incertidumbres desde $0,001^{\circ}\text{C}$ hasta $0,01^{\circ}\text{C}$. Caro y frágil
PRT (Platinum Resistance Thermometer)	Intervalo de uso de -200°C a 660°C . Normalmente de 100 W. Estable y exacto. Incertidumbres desde $0,01^{\circ}\text{C}$ hasta $0,025^{\circ}\text{C}$. No tan caro y un poco menos frágil que el SPRT.

Fuente: Ingeniería y Metrología exactitud para la calidad [www. Inymet.com.mx]