

Calor climático & la precisión de los instrumentos de medición

*Cómo la temperatura ambiental redefine la exactitud, la incertidumbre
y la confiabilidad de sus mediciones en campo y laboratorio*

Un grado puede costar una decisión. En procesos de alta exigencia dimensional y de masa, cada grado Celsius de variación térmica introduce microdeformaciones reales en el instrumento y en la pieza medida. Esta edición explica, con base en ISO/IEC 17025, ISO 10012 y OIML D10, cómo controlar ese factor invisible que puede volver no conforme un resultado aparentemente correcto.



Un recorrido técnico desde el fenómeno físico hasta la práctica de laboratorio y de campo, alineado con los requisitos normativos que sustentan la trazabilidad metrológica.

01	Introducción — El calor, la variable que nadie calibra	03
	Por qué la temperatura ambiental es la fuente de incertidumbre más subestimada.	
02	Dilatación térmica y coeficiente de expansión	04
	Fundamentos físicos: cómo se deforma la materia con el calor y cómo se cuantifica.	
03	Instrumentos bajo presión térmica	05
	Balanzas, calibradores, micrómetros y sensores electrónicos frente al calor.	
04	Deriva térmica e incertidumbre de medición	06
	De la variación física al presupuesto de incertidumbre expandida.	
05	Marco normativo: ISO/IEC 17025, ISO 10012 y OIML D10	07
	Requisitos de control ambiental y competencia técnica.	
06	Casos de industria: minería, metalmecánica, laboratorio y campo	08
	Ejemplos prácticos de impacto térmico real y su mitigación.	
07	Conclusiones y recomendaciones técnicas	09
	Buenas prácticas de control térmico en laboratorio y en campo.	
08	Referencias técnicas	10
	Fuentes normativas y bibliográficas de referencia.	

SOBRE MTM METROLOGÍA

Soluciones metrológicas con trazabilidad documentada para asegurar la conformidad del proceso. Laboratorio de calibración operado bajo ISO/IEC 17025:2017, con sistema de gestión ISO 9001:2015 y cumplimiento de ISO 10012 y OIML D10 para instrumentos de pesaje y medición dimensional.

El calor, la variable que nadie calibra



Un instrumento certificado no deja de ser exacto por decreto: deja de serlo, silenciosamente, cuando la temperatura del entorno se aparta de la condición en que fue calibrado. El calor climático —ya sea el de una tarde de verano en un taller sin climatizar o el de un tajo minero al mediodía— es una de las variables de influencia más determinantes y, paradójicamente, una de las menos vigiladas en la operación diaria.

La metrología moderna reconoce que ningún resultado de medición existe de forma aislada de su entorno. La norma **ISO/IEC 17025:2017** exige que los laboratorios identifiquen y controlen las condiciones ambientales que puedan invalidar los resultados, y la temperatura encabeza esa lista en la inmensa mayoría de los procesos dimensionales, de masa y eléctricos. Cuando el control térmico se descuida, el efecto no es un error grosero y evidente, sino una **deriva sutil y sistemática** que erosiona la confianza metrológica sin activar ninguna alarma visible.

EL DATO QUE ABRE ESTA EDICIÓN

Una barra de acero de 1000 mm se expande aproximadamente 12 μm por cada grado Celsius de incremento. Esa magnitud, insignificante a simple vista, puede exceder por completo la tolerancia de fabricación de una pieza de precisión o el error máximo permitido de un instrumento clase I.

¿Por qué "calor climático" y no solo "temperatura"?

Hablamos de calor climático porque el fenómeno ya no es excepcional: picos de temperatura más frecuentes, jornadas de campo más calurosas y talleres industriales expuestos a radiación solar directa convierten la variabilidad térmica en una condición estructural del entorno de medición, no en un evento aislado. Los laboratorios y equipos metrológicos que antes toleraban variaciones ocasionales hoy deben diseñarse para operar bajo una carga térmica ambiental más alta y más variable a lo largo del año.

Lo que el calor afecta directamente

- Las dimensiones físicas del instrumento (escalas, mordazas, husillos).
- Las dimensiones de la pieza o patrón medido.
- La electrónica de sensores, amplificadores y celdas de carga.
- La viscosidad de lubricantes y el comportamiento mecánico de rodamientos de precisión.

Lo que el calor afecta indirectamente

- La incertidumbre expandida reportada en el certificado de calibración.
- La conformidad de producto frente a especificación (pass/fail).
- La trazabilidad al Sistema Internacional de Unidades (SI).
- La confianza del cliente y la defendibilidad legal del dato metrológico.

En las páginas siguientes se desarrolla el fundamento físico de la dilatación térmica, su traducción en incertidumbre de medición, el comportamiento particular de cada familia de instrumentos y el marco normativo que exige su control, cerrando con recomendaciones prácticas aplicables tanto en laboratorio como en campo.

Dilatación térmica y coeficiente de expansión



Todo material sólido cambia de tamaño con la temperatura. Ese cambio no es una anomalía del instrumento: es una propiedad física del material descrita por su **coeficiente de expansión térmica lineal (α)**, expresado típicamente en $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$.

FIGURA 1 · DIAGRAMA DE EXPANSIÓN TÉRMICA LINEAL



Barra de acero ($\alpha = 11.7 \mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$), longitud nominal 300 mm
 $\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T = 0.300 \text{ m} \cdot 11.7 \mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C} \cdot 15^\circ\text{C} \approx 8.4 \mu\text{m}$

Representación esquemática (no a escala) de la elongación de una barra de acero de 300 mm ante un incremento de 15°C respecto a la temperatura de referencia de calibración (20°C).

La ecuación fundamental es sencilla: $\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$, donde L_0 es la longitud inicial, α el coeficiente de expansión del material y ΔT la variación de temperatura respecto a la referencia de calibración (usualmente 20°C, según ISO 1). El problema real no es que el material se expanda —eso es física básica y predecible— sino que **el instrumento y la pieza medida rara vez se expanden igual**, generando un error dimensional neto que no se autocorrigue.

Material	Coef. α ($\mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$)	ΔL en 500 mm por $\Delta T=10^\circ\text{C}$	Uso típico
Acero para herramientas	11.7	58.5 μm	Calibradores, bloques patrón
Acero inoxidable 304	17.3	86.5 μm	Estructuras de balanzas
Aluminio	23.1	115.5 μm	Carcasas, brazos de sensores
Invar (aleación Fe-Ni)	1.2	6.0 μm	Patrones de alta estabilidad
Vidrio de cuarzo	0.55	2.8 μm	Reglas ópticas de precisión

Valores de referencia orientativos de literatura técnica de materiales; los coeficientes reales pueden variar según aleación, tratamiento y proveedor y deben verificarse en la ficha técnica del fabricante.

Deriva térmica: cuando el error no es constante

La **deriva térmica** es el cambio progresivo en la respuesta de un instrumento a medida que su temperatura interna varía, ya sea por el ambiente o por autocalentamiento electrónico. A diferencia de la dilatación mecánica —que es geométrica y en cierta medida predecible—, la deriva térmica en sensores electrónicos afecta la **ganancia**, el **offset (cero)** y la **linealidad** de la señal, y su comportamiento suele ser no lineal y específico de cada componente.

CONCEPTO CLAVE

La incertidumbre de medición debida a temperatura no se calcula "a ojo": se estima combinando el coeficiente de expansión del instrumento, el del objeto medido, la variación real de temperatura registrada durante el ensayo y, cuando aplica, el coeficiente de deriva térmica declarado por el fabricante (por ejemplo, en ppm/°C para instrumentos electrónicos).

Instrumentos bajo presión térmica

BALANZAS

CALIBRADORES / VERNIER

MICRÓMETROS

SENSORES ELECTRÓNICOS

Balanzas: sensibilidad a la deriva térmica

Las balanzas analíticas y de precisión emplean celdas de carga o sistemas electromagnéticos cuya salida depende de componentes electrónicos sensibles a la temperatura. Un cambio térmico ambiental provoca deriva de cero (el equipo "flota" sin carga) y variación de la sensibilidad de la celda, además de dilatar los elementos mecánicos del mecanismo de pesaje, alterando el brazo de palanca en diseños electromecánicos. Corrientes de aire cálido cerca de la balanza también generan empuje aerodinámico que se confunde con masa.

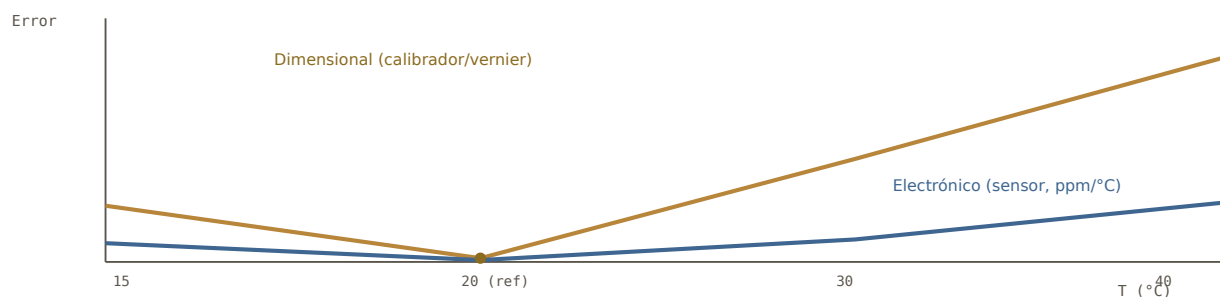
Calibradores y micrómetros: dimensional bajo el sol

Estos instrumentos, mayoritariamente de acero, están diseñados para ser exactos a 20°C. En campo o en talleres sin climatizar, tanto el instrumento como la pieza se expanden, pero casi nunca en la misma proporción si tienen materiales distintos (por ejemplo, un calibrador de acero midiendo una pieza de aluminio). El resultado es un error dimensional aparente que no proviene de una falla del instrumento sino de la física de la dilatación diferencial.

Sensores electrónicos: deriva de cero y de ganancia

Transductores de presión, temperatura, torque y celdas de carga presentan dos tipos de deriva térmica: **deriva de cero** (offset shift, la lectura sin estímulo cambia con la temperatura) y **deriva de ganancia** (span shift, la pendiente de calibración cambia). Los fabricantes suelen declarar estos valores en ppm/°C o %FS/°C en la hoja técnica, y ese dato es indispensable para el presupuesto de incertidumbre.

FIGURA 2 · ERROR INDICATIVO VS. TEMPERATURA AMBIENTE (TENDENCIA CUALITATIVA)



Tendencia cualitativa: el error crece al alejarse de la temperatura de referencia de calibración (20°C). Las pendientes reales dependen del α del material y del coeficiente de deriva declarado por el fabricante; deben verificarse experimentalmente para cada instrumento.

EJEMPLO NUMÉRICO

Un micrómetro de exteriores usado a 32°C (12°C sobre referencia) para medir un eje de acero de 100 mm introduce, solo por dilatación del instrumento y la pieza (asumiendo materiales similares, $\alpha \approx 11.7 \mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$), un desplazamiento del orden de 14 μm —comparable o superior a la tolerancia IT5 de muchos ejes de precisión mecánica.

Deriva térmica e incertidumbre de medición



La incertidumbre de medición es la herramienta que permite convertir un fenómeno físico —el calor deformando materiales y desplazando señales electrónicas— en un número defendible dentro de un certificado de calibración.

Siguiendo el enfoque de la Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medición (GUM), la componente térmica se trata típicamente como una **fuentes de incertidumbre tipo B**: se estima a partir de datos del fabricante, límites de variación de temperatura del recinto y el coeficiente de expansión aplicable, en lugar de a partir de repeticiones estadísticas directas. Esta componente se combina con las demás fuentes (resolución, repetibilidad, patrón de referencia, operador) mediante suma cuadrática para obtener la incertidumbre combinada, que luego se expande con un factor de cobertura k (usualmente $k=2$, ~95% de confianza).

TABLA 1 · PRESUPUESTO SIMPLIFICADO DE INCERTIDUMBRE TÉRMICA (EJEMPLO ILUSTRATIVO)

Fuente	Valor estimado	Distribución	Contribución (μm)
Dilatación diferencial instrumento/pieza	$\pm 8.4 \mu\text{m}$	Rectangular	4.85
Deriva térmica del sensor (ppm/ $^{\circ}\text{C}$ fabricante)	$\pm 3.0 \mu\text{m}$	Rectangular	1.73
Resolución del instrumento	$\pm 0.5 \mu\text{m}$	Rectangular	0.29
Repetibilidad (tipo A)	$\pm 1.2 \mu\text{m}$	Normal	1.20

Ejemplo pedagógico simplificado; un presupuesto real debe documentarse según el procedimiento del laboratorio y la guía GUM, con datos propios de cada instrumento y ensayo.

El punto ciego más común

En la práctica de campo, la fuente de incertidumbre térmica suele subestimarse o ni siquiera incluirse, porque no se registró la temperatura real durante la medición. Sin ese dato, cualquier estimación posterior es especulativa. Por eso, **registrar la temperatura ambiental en el momento exacto de la medición** es tan importante como registrar el propio valor medido.

Errores frecuentes

- Calibrar en laboratorio climatizado y usar en campo sin corrección.
- Ignorar el autocalentamiento del equipo tras horas de uso continuo.
- No dejar tiempo de estabilización térmica del instrumento antes de medir.
- Confundir la temperatura del aire con la temperatura real de la pieza.

Buenas señales de control

- Registro simultáneo de temperatura, humedad y valor medido.
- Uso de coeficientes de corrección declarados en el certificado.
- Tiempos de aclimatación documentados en el procedimiento.
- Verificación periódica de la deriva mediante patrones de control.

RELACIÓN CON EL RESULTADO

Una incertidumbre expandida subestimada por omitir la componente térmica puede llevar a declarar "conforme" un producto que, considerando el efecto real del calor, estaría fuera de especificación — con las consecuencias legales y de calidad que ello implica.

ISO/IEC 17025, ISO 10012 y OIML D10



El control térmico no es una buena práctica opcional: es un requisito documentado dentro de los marcos normativos que sustentan la validez legal y técnica de un resultado de medición.

ISO/IEC 17025:2017

Exige que el laboratorio determine, controle y registre las condiciones ambientales que puedan afectar la validez de los resultados, incluyendo la especificación de límites de temperatura para los ensayos y calibraciones que lo requieran, así como el monitoreo y el registro correspondiente cuando esas condiciones influyan en la calidad de los resultados.

NTC-ISO 10012:2003

Enfocada en los sistemas de gestión de las mediciones, establece los requisitos para asegurar que el equipo y los procesos de medición sean adecuados a su propósito, incluyendo la gestión de las condiciones ambientales como parte del control metrológico confirmatorio del equipo.

OIML D10 — Directrices para determinar los intervalos de calibración

La recomendación internacional OIML D10 orienta sobre cómo definir y ajustar los intervalos de calibración de un instrumento, considerando factores como la estabilidad histórica, condiciones de uso y exposición ambiental. Un instrumento sometido a variaciones térmicas severas y frecuentes puede requerir intervalos de calibración más cortos que uno operado en ambiente controlado.

TABLA 2 · REQUISITOS NORMATIVOS RELACIONADOS CON EL CONTROL TÉRMICO

Norma / referencia	Enfoque	Relación con el calor climático
ISO/IEC 17025:2017	Competencia de laboratorios de ensayo y calibración	Control, monitoreo y registro de condiciones ambientales que afecten los resultados
NTC-ISO 10012:2003	Sistemas de gestión de las mediciones	Confirmación metrológica del equipo bajo condiciones de uso reales
OIML D10	Intervalos de calibración	Ajuste de la frecuencia de calibración según exposición ambiental
ISO 1:2016	Temperatura de referencia normalizada	Fija 20°C como referencia para mediciones dimensionales
ISO 9001:2015	Gestión de la calidad	Marco general de control de procesos y mejora continua

EN LA PRÁCTICA MTM

Como laboratorio que opera bajo ISO/IEC 17025:2017, ISO 9001:2015, NTC-ISO 10012:2003 y OIML D10, MTM Metrología incorpora el monitoreo de temperatura y humedad como parte integral de sus procesos de calibración, documentando las condiciones ambientales en cada certificado emitido.

ISO/IEC 17025:2017

NTC-ISO 10012:2003

ISO 9001:2015

OIML D10

Minería

En operaciones a cielo abierto, básculas de camión y sistemas de pesaje dinámico operan bajo radiación solar directa y oscilaciones térmicas diarias de más de 15°C. La deriva de celdas de carga expuestas puede traducirse en toneladas de mineral mal contabilizadas por turno si no se corrige o se protege el sistema de pesaje.

Laboratorio de calibración

Incluso en ambientes controlados, la apertura frecuente de puertas, la carga térmica de equipos electrónicos y la proximidad de ventanas pueden generar gradientes locales de temperatura que afectan balanzas analíticas de alta resolución, motivando el uso de recintos de estabilización y registro continuo de temperatura.

Metalmecánica

Talleres de mecanizado sin climatización ven variar la temperatura ambiente varios grados entre la mañana y las horas de mayor producción. Piezas medidas recién salidas de proceso de corte o soldadura aún no han alcanzado equilibrio térmico, generando rechazos o aprobaciones erróneas en control dimensional.

Mediciones en campo

Verificaciones dimensionales en obra civil, montajes industriales o inspección de tuberías exponen instrumentos portátiles a condiciones extremas de temperatura. La ausencia de tiempo de aclimatación antes de medir es una de las causas más comunes de discrepancias entre mediciones de campo y de laboratorio.

TABLA 3 · RIESGO TÉRMICO RELATIVO POR SECTOR (ILUSTRATIVO)

Sector	Variación térmica típica	Instrumento crítico	Riesgo relativo
Minería (cielo abierto)	10–20°C/día	Básculas, celdas de carga	Alto
Metalmecánica	5–12°C/día	Calibradores, micrómetros	Medio-alto
Laboratorio de calibración	±1–2°C	Balanzas analíticas	Bajo (controlado)
Campo / obra civil	8–18°C/día	Equipos dimensionales portátiles	Alto

LECCIÓN COMÚN

En los cuatro sectores, el patrón se repite: el instrumento no falla mecánicamente, pero el resultado se corre silenciosamente fuera de su incertidumbre declarada. La diferencia entre un dato confiable y uno cuestionable rara vez es el instrumento: es la disciplina con la que se gestiona su entorno térmico.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

El calor climático es una variable de influencia estructural, no incidental, en la exactitud de balanzas, calibradores, micrómetros y sensores electrónicos. Su efecto se manifiesta mediante dilatación térmica diferencial y deriva electrónica, y su magnitud puede igualar o superar la tolerancia del propio proceso que se busca controlar. Gestionarlo no requiere equipos más caros, sino **procedimientos más disciplinados**: registrar temperatura, respetar tiempos de aclimatación, aplicar correcciones cuando corresponda y sustentar todo ello dentro de un sistema de gestión conforme a ISO/IEC 17025, ISO 10012 y OIML D10.

Recomendaciones técnicas

01

Registrar temperatura y humedad

En cada medición crítica, documentar la temperatura ambiental y, cuando aplique, la de la pieza junto con el valor medido.

02

Respetar tiempos de aclimatación

Permitir que instrumento y pieza alcancen equilibrio térmico con el ambiente de medición antes de tomar lectura.

03

Calibrar cerca de la condición de uso

Cuando el instrumento opera predominantemente en campo, considerar puntos de verificación a temperaturas representativas, no solo a 20°C.

04

Proteger de radiación y corrientes de aire

Evitar exposición solar directa y flujos de aire cálido sobre balanzas y sensores durante la medición.

05

Incluir la componente térmica en la incertidumbre

Estimar y documentar formalmente la contribución térmica dentro del presupuesto de incertidumbre, según GUM.

06

Ajustar intervalos de calibración

Para equipos expuestos a variación térmica severa, evaluar intervalos más cortos conforme a los criterios de OIML D10.

07

Climatizar zonas críticas

En laboratorio, mantener recintos de estabilización térmica para balanzas analíticas y patrones de referencia.

08

Capacitar al personal de campo

Formar a los operadores en el reconocimiento de riesgo térmico y en el uso correcto de correcciones y procedimientos.

MENSAJE FINAL

La precisión no se pierde de golpe: se erosiona grado a grado. Controlar el calor climático es, en esencia, proteger la validez de cada decisión que se toma con base en una medición.

Referencias técnicas



Referencias normativas y bibliográficas de tipo general utilizadas como base conceptual de esta edición. Se recomienda consultar siempre la versión vigente de cada documento.

- [1] ISO/IEC 17025:2017. *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. International Organization for Standardization.
- [2] NTC-ISO 10012:2003. *Sistemas de gestión de las mediciones — Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición*. ICONTEC.
- [3] OIML D10. *Guidelines for the determination of calibration intervals of measuring instruments*. International Organization of Legal Metrology.
- [4] ISO 1:2016. *Geometrical product specifications (GPS) — Standard reference temperature for the specification of geometrical and dimensional properties*.
- [5] JCGM 100:2008 (GUM). *Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement*. Joint Committee for Guides in Metrology.
- [6] ISO 9001:2015. *Sistemas de gestión de la calidad — Requisitos*. International Organization for Standardization.
- [7] EURAMET Calibration Guide. *Guidelines on the determination of uncertainty in gravimetric volume calibration and dimensional metrology*. European Association of National Metrology Institutes.
- [8] NIST Handbook 44 / NIST Technical Notes on dimensional metrology and thermal effects in precision measurement.
- [9] Doiron, T. & Beers, J. *The Metrologist's Handbook of Temperature Compensation in Dimensional Metrology*. Referencia técnica de uso didáctico en la industria de la precisión dimensional.
- [10] Documentación técnica interna MTM Metrología — Procedimientos de calibración y control de condiciones ambientales, Sistema de Gestión ISO/IEC 17025:2017.

NOTA EDITORIAL

Esta publicación tiene fines técnico-divulgativos. Los valores numéricos de ejemplo son ilustrativos y no sustituyen el presupuesto de incertidumbre específico de cada instrumento, procedimiento y laboratorio, el cual debe desarrollarse conforme a la metodología GUM y a los procedimientos internos del laboratorio.



Soluciones metrológicas con trazabilidad documentada para asegurar la conformidad del proceso

Escanee el código para conocer nuestros servicios de calibración, trazabilidad documentada y canales de contacto directo con nuestro equipo técnico.



mtmmetrologia.com

ISO/IEC 17025:2017

NTC-ISO 10012:2003

ISO 9001:2015

OIML D10

Ing. Javier Lizarazo P.

Director de Servicios Metrológicos · MTM Metrología SAS

Cel. 310 503 1771 · Barranquilla, Colombia