

# Expresión e Interpretación de Resultados Experimentales en Metrología

Todo buen experimento o servicio de: medición, verificación, prueba o calibración; debe ser acompañado igualmente de un informe de resultados bien expresado, ISO/IEC 17025 nos indica las características que se esperan de este informe o certificado ya sea de calibración o de prueba y sus resultados o contenido, lo cual sirve como guía para su adecuada elaboración y posterior interpretación, algunos de los requisitos generales de esta norma en su versión 2005 son:



- (5.10.1) Exactos, claros, precisos (no ambiguos) y objetivos,
- (5.10.8) Minimizar la posibilidad de mala interpretación o mal uso,
- (5.10.8 n1) Es conveniente prestar atención a la forma de presentar informes, especialmente con respecto a la presentación de datos y a la facilidad de asimilación del lector,
- (5.10.1) Deben incluir TODA la información requerida por el cliente y necesaria para la interpretación de los resultados,
- (5.10.1) Para clientes internos o en el caso de un acuerdo escrito con el cliente, los resultados pueden ser informados en forma simplificada,
- (5.10.1 n2) Entregados como copia en papel,
- (5.10.1 n2) ó entregados como transferencia electrónica de datos,
- (5.10.2 i)) Resultados de la medición con sus unidades de medida,
- (5.10.3.1 c)) Incertidumbre de medición en resultados de prueba,
- (5.10.4.1 b)) Incertidumbre de medición (instrumental) en resultados de calibración,
- (5.10.5) Recomendaciones sobre la forma de utilizar los resultados.

En esta edición de La Guía MetAs, se señalan los resultados de medición que usualmente se reportan en los informes (certificados) de calibración y prueba acompañados de la definición correspondiente de acuerdo con el VIM3 (Vocabulario Internacional de Metrología 3a edición) el cual se encuentra como borrador en el proceso de revisión para su publicación.

## Somos su Relevo a la Calidad

*La Guía MetAs*, es el boletín periódico de MetAs & Metrólogos Asociados.

En *La Guía MetAs* se presentan noticias de la metrología, artículos e información técnica seleccionada por los colaboradores de MetAs & Metrólogos Asociados, que deseamos compartir con nuestros colegas, usuarios, clientes, amigos y con todos aquellos relacionados con la metrología técnica e industrial.

Calle: Jalisco # 313. Colonia: Centro  
49 000, Cd. Guzmán, Zapotlán El Grande, Jalisco, México  
Teléfono & Fax: 01 (341) 4 13 61 23 & 4 14 69 12 con tres líneas  
E-mail: laguiametas@metas.com.mx. Web: www.metas.com.mx

### Servicios Metrológicos:

#### Laboratorio de Calibración:

Presión, Alto Vacío, Temperatura, Humedad, Eléctrica, Vibraciones, Masa, Densidad, Volumen y Óptica

#### Ingeniería:

Selección de Equipos, Desarrollo de Sistemas de Medición y Software, Reparación y Mantenimiento

#### Gestión Metrológica:

Subcontratación de Servicios, Outsourcing, Selección de Proveedores, Confirmación Metrológica

#### Consultoría:

Capacitación, Entrenamiento, Asesoría, Auditorías, Ensayos de Aptitud, Sistemas de Calidad

### Presentación de resultados en informes de calibración o prueba

Como es normal, las normas no indican el formato que se debe utilizar para presentar estos informes de resultados, pero debemos considerar que los *resultados de medición* (VIM3 2.9), pueden ser expresados en diferentes formas, tales como:

#### Texto

*Declaración o informe* (VIM3 2.39 n1),

#### Numérica

*Tabla* (cuadro) *de calibración* (VIM3 2.39 n1 y 4.29 n2):

*Indicaciones* (VIM3 4.1),

*Errores* (VIM3 2.17),

*Correcciones* (aditivas) o factores de corrección (multiplicativas) (VIM3 2.39 n1 y 2.53),

*Incertidumbre instrumental* (VIM3 4.23),

*Intervalo de cobertura* (VIM3 2,36), no confundirlo con factor de cobertura,  $k$  (VIM3 2.38),

De prueba:

*Valor medido* (VIM3 2.10),

*Incertidumbre de medición* (VIM3 2.27),

*Intervalo de cobertura* (VIM3 2,36),

#### Ecuación numérica

*Función de medición* (algoritmo) (VIM3 2.39 n1 y VIM3 2.49),

Curva de ajuste (regresión),

#### Gráfica de dispersión $XY$

*Diagrama de calibración* (VIM3 2.39 n1 y VIM3 4.29),

*Curva de calibración* (VIM3 2.39 n1 y VIM3 4.30),

Nomograma,

Por lo cual es necesario entender claramente lo que es el resultado de una medición y sus variantes en el contexto de una prueba y de una calibración, para lo cual se presentan algunas definiciones del VIM3.

#### Resultado de medición (VIM3 2.9)

Conjunto de valores de una magnitud atribuidos a un mensurando acompañados de cualquier otra información relevante disponible.

Notas:

1. Una medición generalmente provee información sobre un conjunto de valores de una magnitud, tales que algunos pueden representar mejor al mensurando que otros. Lo anterior puede ser mostrado en forma de una función de densidad de probabilidad (FDP).
2. Un resultado de medición se expresa generalmente como **un valor medido único** y una **incertidumbre de la medida**. Si la incertidumbre de la medida se considera despreciable para algún propósito, el resultado de la medición puede expresarse como un único valor medido de la magnitud. En muchos campos ésta es la forma usual de expresar un resultado de medición.
3. En la literatura tradicional y en la edición precedente del VIM, el término resultado de medición estaba definido como un valor atribuido al mensurando y su significado se entendía según el contexto como: **indicación, resultado no corregido, resultado corregido.**

En base a la definición anterior se entiende que existen diferentes tipos de *resultados de mediciones* a partir de los valores o valor de las mediciones (muy comúnmente llamadas lecturas, registradas como datos experimentales) que de forma directa obtenemos del instrumento, antes de su tratamiento:

#### Indicación (VIM3 4.1)

Valor proporcionado por un instrumento para medir o un sistema de medida.

Notas:

1. La indicación puede ser presentada en forma visual o acústica, o puede ser transferida a otro dispositivo. Frecuentemente se da por la **posición en el display (escala del indicador) para las salidas analógicas**, por un **número desplegado o impreso para las salidas numéricas (digitales)**, por una configuración codificada para las **salidas codificadas**, o por el **valor asignado para las medidas materializadas**.

## INFORMES:

Exactos,  
Claros,  
Precisos,  
No-ambiguos,  
Objetivos.

- La indicación y el valor de la magnitud medida no son necesariamente valores de magnitudes de la misma naturaleza.

**Valor nominal** (VIM3 4.5)

Valor redondeado o aproximado de una magnitud característica de un instrumento para medir o de un sistema de medida, que sirve de guía para su utilización apropiada.

Ejemplo:

- El valor nominal 100  $\Omega$  marcado sobre una resistencia patrón,
- El valor nominal 1 000 ml marcado con un trazo sobre un recipiente graduado,
- El valor 0,1 mol/L de la concentración de cantidad-de-sustancia de una solución de ácido clorhídrico, HCl,
- El valor 40 °C de una temperatura Celsius máxima para almacenamiento.

Nota:

En inglés, el término “nominal value” también se emplea para el valor de una propiedad cualitativa.

**Resultado no corregido** (VIM2 3.3)

Resultado de una medición antes de la corrección por error sistemático.

**Resultado corregido** (VIM2 3.4)

Resultado de una medición después de la corrección por error sistemático.

Una vez que los resultados de la medición han sido sometidos a un tratamiento de corrección por errores y efectos sistemáticos y análisis estadístico de datos, obtenemos el *valor medido*, que se define a continuación.

**Valor medido de una magnitud** (VIM3 2.10)

Valor de una magnitud que representa un resultado de medición.

Notas:

- Para una medición que involucre indicaciones repetidas, cada indicación puede usarse para producir un valor medido de la magnitud correspondiente. Este conjunto de valores medidos individuales puede usarse para calcular un valor medido resultante, en el cual la incertidumbre de medida asociada es generalmente más pequeña.
- Cuando la amplitud del intervalo de los valores verdaderos de la magnitud que se cree representan al mensurando es pequeño comparado con la incertidumbre de la medida, un valor medido puede considerarse como el mejor estimado de un valor verdadero, por esencia único y con frecuencia bajo la forma de un **promedio** o de una **mediana** de los valores medidos individuales obtenidos mediante mediciones repetidas.
- Cuando la amplitud del intervalo de los valores verdaderos de la magnitud que se cree representan al mensurando no es pequeño en comparación con la incertidumbre de la medida, un valor medido es frecuentemente un estimado de un promedio o de una mediana del conjunto de valores verdaderos de la magnitud.
- En la GUM, los términos “**resultado de medición**” y “**estimado del valor del mensurando**” o simplemente “**estimado del mensurando**” se usan como “**valor medido de la magnitud**”. (GUM 3.2.4) Se supone que el “resultado de una medición” ha sido **corregida para todos los efectos sistemáticos significativos reconocidos** y que todo esfuerzo ha sido hecho para identificar estos efectos.

**ELABORACIÓN DE INFORMES (CERTIFICADOS) DE CALIBRACIÓN**

La elaboración de informes de calibración es el complemento documental de un experimento de calibración, en el informe de calibración se deben verter las competencias del metrólogo (responsable de laboratorio), respecto a los diferentes procedimientos y métodos del laboratorio, relacionados con:

- ✓ Muestreo, al seleccionar la cantidad de puntos a lo largo del intervalo de calibración así como la cantidad de repeticiones necesarias.
- ✓ Física, al corregir los diferentes fenómenos físicos que afectan las mediciones del patrón y del instrumento de medición o medida materializada.
- ✓ Propagación de errores, al calcular la componente sistemática de error del instrumento sujeto a calibración.

Resultado de  
medición

*versus*

Valor  
medido

- ✓ Propagación de incertidumbres, al evaluar la incertidumbre instrumental del instrumento calibrado, que representa las diferentes magnitudes de entrada de su modelo o función de medición y magnitudes de influencia que afectan la indicación, ya sean tanto aleatorias como sistemáticas que provocan fenómenos de dispersión.
- ✓ Validación, al determinar mediante criterios objetivos si los datos, cálculos y resultados son correctos y consistentes.

## EXPRESIÓN DE RESULTADOS

Los dígitos o cifras significativas de un número, son todos aquellos que se obtienen directamente del proceso de medición después de eliminar todos los ceros que se ponen con el único propósito de colocar el signo o la coma decimal, es importante no confundir los dígitos significativos con el número de lugares decimales, para lo cual se presentan las siguientes definiciones, ejemplos y criterios de expresión de los resultados de mediciones en Informes o Certificados de Calibración o Prueba. Ejemplos y definiciones:

Ejemplos de dígitos significativos y lugares decimales

Datos	Dígitos Significativos	Lugares Decimales	Comentarios
5	1	0	implica (1/5) 20 % de resolución
5,0	2	1	implica (0,1/5) 2 % de resolución
5,00	3	2	implica (0,01/5) 0,2 % de resolución
0,225	3	3	el cero antes de la coma decimal no es necesario, pero indica la posición de este
7,449	4	3	-
$2,449 \cdot 10^3$	4	3	-
520	2 ó 3	0	ambiguo, el cero puede ser significativo o puede estar presente solo para mostrar la posición de la coma decimal
$5,20 \cdot 10^2$	3	2	Con la notación científica no hay ambigüedad
$5,2 \cdot 10^2$	2	1	-

Cifras significativas

versus

Lugares decimales

### Dígito

Término utilizado como sinónimo de la palabra “cifra” y que puede interpretarse como el símbolo que representa al cero y a los nueve primeros números.

### Número de cifras (dígitos) significativos

Para un determinado valor, es el número de (cifras) dígitos que se obtienen contando de izquierda a derecha del valor, a partir del primer dígito que no sea cero. El cero es considerado como un dígito, excepto cuando se utiliza para localizar el signo o la coma decimal como en 0,08 (un dígito significativo).

### Número de lugares decimales

Para un determinado valor, es el número de lugares contados a partir del signo o la coma decimal y hacia la derecha, hasta el último dígito proporcionado, como en 0,08 (dos lugares decimales).

## CRITERIOS PARA LA EXPRESIÓN DE RESULTADOS NUMÉRICOS

Al momento de informar el resultado de una medición ya sea en un Informe o Certificado de Calibración o Prueba, se deberá tener especial cuidado de hacerlo con los dígitos significativos adecuados, considerando los siguientes criterios:

### De acuerdo a las características metroológicas de instrumento

- # Los resultados (indicaciones, errores de ajuste e incertidumbres) que se expresan en las unidades de medición del equipo, es decir unidades absolutas, deben expresarse con la cantidad de dígitos decimales que corresponden a su resolución de indicación ya sea digital o analógica.
- # Los resultados (errores de ajuste e incertidumbres) que se expresan adimensionalmente en porcentaje (%) o en partes por millón (ppm) ya sea en forma relativa (de la lectura) como %L, ppmL; o en forma

fiducial (de escala total) como %ET, ppmET. Deben expresarse con la cantidad de dígitos decimales que permitan que la incertidumbre se exprese preferentemente con 1 ó 2 dígitos significativos, revisar el por qué en los siguientes criterios.

#### De acuerdo con la GUM Guía BIPM (7.2.6) para la expresión de incertidumbres

- # Los valores numéricos de la incertidumbre estándar ( $u$ ) e incertidumbre expandida ( $U$ ) no deberán ser expresadas con un número excesivo de datos.
- # Al momento de expresar la incertidumbre se recomienda utilizar un máximo de dos dígitos significativos.
- # Al reportar los resultados finales en algunas ocasiones será apropiado redondear las incertidumbres hacia arriba en lugar del dígito más cercano.
- # Declarar el resultado de la medición como  $Y = y \pm U$  y dar la unidades de  $y$  y  $U$ .  
Ejemplo:  $m_s = (100,021\ 47 \pm 0,000\ 79)\text{ g}$
- # Incluir la incertidumbre expandida en forma relativa  $U/|y|$ ,  $|y| \neq 0$ ; cuando sea apropiado.
- # Solo cuando el resultado de la medición se expresa como  $Y = y$  con  $u_c$ , utilizando la incertidumbre estándar combinada, se pueden utilizar las siguientes formas de expresión:  
Ejemplos:  $m_s = 100,021\ 47\text{ g}$  con  $u_c = 0,35\text{ mg}$   
 $m_s = 100,021\ 47(35)\text{ g}$   
 $m_s = 100,021\ 47(0,000\ 35)\text{ g}$   
 $m_s = (100,021\ 47 \pm 0,000\ 35)\text{ g}$
- # el formato  $\pm$  debe evitarse con la incertidumbre estándar en la medida de lo posible para evitar confusión con la incertidumbre expandida.
- # Utilizar el signo  $\pm$  (mas-menos) solamente cuando la incertidumbre se expresa en forma expandida ( $k$  de 2...3), con un nivel de confianza amplio ( $p > 95\%$ ) y no para la incertidumbre estándar.

Criterio expresión:  
Resolución de  
indicación  
y  
máximo 2 dígitos  
significativos

#### De acuerdo con el Suplemento 1 la GUM (7.9.2) propagación de incertidumbres utilizando el MCM método Monte Carlo

- # En la mayoría de las aplicaciones es suficiente reportar la incertidumbre de medición a uno o quizás dos dígitos decimales significativos. El cálculo debe efectuarse de tal forma que de una seguridad razonable de que en términos de la información proporcionada para la evaluación de incertidumbre estos dígitos decimales son correctos.
- #  $n_{\text{dig}}$  número de dígitos decimales significativos considerados como representativo en un valor numérico.
- # Tolerancia numérica (3.21) se define como: semi-ancho del intervalo más corto que contiene todos los números que pueden ser expresados a un número especificado de dígitos decimales significativos.  
Ejemplo: todos los números mayores que 1,75 y menores que 1,85 pueden expresarse a dos dígitos decimales significativos como 1,8. La tolerancia numérica es  $(1,85 - 1,75)/2 = 0,05$ .
- # (4.14) al menos que otra forma se haya habilitado, los números son expresados de tal manera que indiquen el número de dígitos decimales significativos representativos. Ejemplo: los números 0,060; 0,60; 6,0 y 60 son expresados a dos dígitos decimales significativos. Los números 0,06; 0,6; 6 y  $6 \cdot 10^1$  son expresados a un dígito decimal significativo. Es incorrecto expresar  $6 \cdot 10^1$  como 60, dado que esto implica dos dígitos decimales significativos.
- # (5.5.2)  $y$ ,  $u(y)$  y los puntos extremos de un intervalo de cobertura  $100p\%$  para  $Y$  deben reportarse a un número de dígitos decimales tal que el dígito decimal menos significativo este en la misma posición con respecto al signo decimal como para  $u(y)$  (GUM 7.2.6). Uno o dos dígitos decimales significativos usualmente serían adecuados para representar  $u(y)$ .

Nota 1. Cada valor numérico reportado será típicamente obtenido redondeando un valor numérico expresado al número más grande de dígitos decimales significativos.

Nota 2. Un factor que influye la selección de uno o dos dígitos decimales significativos es el primer dígito decimal significativo de  $u(y)$ . Sí este dígito es 1 ó 2, la desviación del valor numérico reportado de  $u(y)$  de su valor numérico reportado antes del redondeo es relativamente grande al segundo valor numérico. Sí el primer dígito decimal significativo es 9, la desviación es relativamente pequeña.

Nota 3. Sí el resultado será utilizado en cálculos posteriores, se debe considerar si deben conservarse dígitos decimales adicionales.

Ejemplo: Suponga que es significativo declarar dos dígitos decimales significativos en  $u(y)$ ,  $u(y) = 0,028$  V. Entonces de manera correspondiente,  $y$  y el intervalo de cobertura más corto para el 95 % para  $Y$  se podría que  $y = 1,024$  V, Intervalo de cobertura del 95 % = [0,983 V; 1,088 V]. Sin embargo, si fuera significativo reportar solo un dígito decimal significativo en  $u(y)$ , entonces para  $Y$  se podría que  $y = 1,02$  V,  $u(y) = 0,03$  V y el Intervalo de cobertura del 95 % = [0,98 V; 1,09 V]. El intervalo de cobertura es asimétrico con respecto a  $y$  en ambos casos.

- # (7.9.2) Tolerancia numérica asociada con un valor numérico. Dejar que  $n_{\text{dig}}$  denote el número de dígitos decimales significativos considerados como representativos en un valor numérico  $z$ . La tolerancia numérica con  $z$  se da como sigue: a) exprese  $z$  en la forma  $c \cdot 10^l$ , donde  $c$  es un  $n_{\text{dig}}$  dígito decimal entero y  $l$  un entero; b) hacer  $\delta = \frac{1}{2} \cdot 10^l$ .

Ejemplo 1: El estimado de la magnitud de salida para un patrón de medición de masa de 100 g nominal (GUM 7.2.2) es  $y = 100,021$  47 g. La incertidumbre estándar  $u(y) = 0,000$  35 g, ambos dígitos significativos son considerados como representativos. Así,  $n_{\text{dig}} = 2$  y  $u(y)$  puede expresarse como  $35 \cdot 10^{-5}$  g, así pues  $c = 35$  y  $l = -5$ . Hacer,  $\delta = \frac{1}{2} \cdot 10^{-5}$  g = 0,000 005 g.

Ejemplo 2. como el ejemplo 1 excepto que solo se tiene un dígito decimal significativo en  $u(y)$

considerado como representativo. Así,  $n_{\text{dig}} = 1$  y  $u(y) = 0,000$  4 g =  $4 \cdot 10^{-4}$  g, así pues  $c = 4$  y  $l = -4$ . hacer  $\delta = \frac{1}{2} \cdot 10^{-4}$  g = 0,000 05 g.

Ejemplo 3. en una medición de temperatura,  $u(y) = 2$  K. entonces,  $n_{\text{dig}} = 1$  y  $u(y) = 2 \cdot 10^0$  K, así pues  $c = 2$  y  $l = 0$ . hacer,  $\delta = \frac{1}{2} \cdot 10^0$  K = 0,5 K.

- # (8.2) Obteniendo resultados MCM para propósitos de validación. Un número suficiente  $M$  de pruebas Monte Carlo (sub-cláusula 7.2) debe desarrollarse al obtener resultados MCM para los propósitos de validación de la sub-cláusula 8.1. permitir  $n_{\text{dig}}$  denote el número de dígitos decimales significativos requeridos en  $u(y)$  (sub-cláusula 7.9.1) cuando valide la infraestructura de la GUM utilizando MCM, permitir que  $d$  denote la tolerancia numérica asociada con  $u(y)$  (sub-cláusula 7.9.2). Entonces es recomendado que el procedimiento Monte Carlo adaptivo (sub-cláusula 7.9.4) sea utilizado para proveer resultados MCM a una tolerancia numérica  $\delta/5$ .

Nota. Puede esperarse que el uso de una tolerancia numérica de  $\delta/5$  podría requerir un valor numérico de  $M$  del orden de 25 veces que para una tolerancia numérica de  $\delta$ .

#### De acuerdo con ISO 5725-2 (5.1.4), para la determinación de estudios de r&R repetibilidad y reproducibilidad

- # En la práctica comercial y métodos normales (Calibración o Prueba), los resultados pueden ser redondeados en forma sencilla (al dígito más cercano).
- # En un experimento de precisión (ensayo de aptitud, comparación interlaboratorio, estudio r&R, incluso en la validación de software y hojas de cálculo), los resultados deberán ser expresados con al menos un dígito significativo más que en el método normal.
- # Si el método no especifica el número de dígitos no deberá ser inferior a la mitad de la desviación estándar estimada por repetibilidad.

Del último criterio expresado en términos de incertidumbres expandida (normalmente 2 desviaciones estándar), en la práctica esto significa que:

- a) Si la incertidumbre expandida tiene por ejemplo valores que van de 0,10...0,39 ( $\pm 0,10 \leq U \leq \pm 0,39$ ), los resultados se expresan correctamente con dos dígitos decimales significativos, y
- b) Si la incertidumbre expandida tiene por ejemplo valores que van de 0,40...0,99 ( $\pm 0,4 \leq U \leq \pm 0,9$ ), los resultados se expresan correctamente incluso con solo un dígito decimal significativo.

Es necesario considerar en todo momento el buen criterio del responsable de la aprobación y emisión de los resultados, respecto a la exactitud, objetividad, claridad e in-ambigüedad de los resultados, con el objeto de que el usuario de los resultados tenga un fácil entendimiento y uso del contenido de los mismos. Por ejemplo, un *cuadro (tabla) de calibración* con 10 diferentes valores de incertidumbre expandida a lo largo del *intervalo de medición* de un instrumento, podrá expresarse con una cantidad de dígitos decimales homogéneos, considerando que la mayoría de los datos se expresan correctamente con dos dígitos significativos y solamente una minoría se expresan con más o menos dígitos significativos de los estrictamente necesarios.

Errores:  
de medida,  
sistemático,  
indicación,  
sesgo (*bias*),  
ajuste,

Ejemplo de cantidad de dígitos en la incertidumbre expandida en un cuadro (tabla) de calibración.

Valor de Referencia	Indicación	Error	Incertidumbre
			±0,003 %L
			±0,020 %L
			±0,039 %L
			±0,048 %L
			±0,057 %L
			±0,066 %L
			±0,075 %L
			±0,084 %L
			±0,093 %L
			±0,102 %L

## RESULTADOS QUE SE REPORTAN EN INFORMES DE CALIBRACIÓN O PRUEBA

### Error de medida (VIM3 2.17)

Diferencia entre un valor medido de una magnitud y un valor de referencia.

Notas:

1. El concepto de error puede ser usado cuando existe un solo valor de referencia al cual referirse, lo cual ocurre si se hace una calibración mediante un patrón de medida de incertidumbre de medida despreciable o si se da un valor convencional de la magnitud, o si el mensurando se supone representado por un valor verdadero único o por un conjunto de valores verdaderos con amplitud despreciable.
2. Debe notarse el signo de la diferencia.
3. El error de medida no debería ser confundido con error de producción o con error humano.

$$E_{\text{medida}} = VM - VR$$

### Error (de indicación) de un instrumento de medición (VIM2 5.20)

Indicación de un instrumento de medición menos un valor verdadero de la magnitud de entrada correspondiente.

Este concepto se aplica principalmente cuando un instrumento se compara con un patrón de referencia.

Para una medida materializada, la indicación es el valor que tiene asignado.

$$E_{\text{indicación}} = I - VR$$

### Sesgo de medida (VIM3 2.19) (traducido del inglés “bias”)

### Error de ajuste (traducido del francés “erreur de justesse”)

Error sistemático de medida o su estimado, con respecto a un valor de referencia

### Error de ajuste (de un instrumento de medición) (VIM2 5.25) (ver VIM3 2.19 sesgo de medida)

Error sistemático de la indicación de un instrumento de medición.

El error de ajuste de un instrumento de medición es normalmente estimado por el promedio del error de indicación de un número apropiado de mediciones repetidas.

$$E_{\text{ajuste}} = \sum_{i=1}^n \frac{E_{\text{indicación}-i}}{n}$$

Es común que en algunas magnitudes se reporte el valor de la *corrección*, *factor de corrección* o *factor de calibración* en lugar de la componente sistemática del error, es importante señalar que el error sistemático o error de ajuste de un instrumento no es la única corrección a realizar para obtener de su *indicación* un *valor medido*, sino que es necesario que el usuario corrija por otros *efectos sistemáticos* conocidos.

Incertidumbre  
Expandida:

Medición,

Instrumental.

**Corrección** (VIM3 2.53)

Modificación aplicada a un valor medido de la magnitud para compensar un efecto sistemático conocido.

Notas:

1. Véase la GUM 3.2.3, para una explicación de “efecto sistemático”.
2. La modificación puede tomar diferentes formas, tales como la adición de un valor o la multiplicación por un *factor*, o puede ser deducida de una tabla.

**Efecto sistemático** (GUM 3.2.3)

El error sistemático, como el error aleatorio, no puede ser eliminado, pero a menudo puede ser reducido. Si un error sistemático se presenta como consecuencia de un efecto reconocido de una magnitud de influencia en el resultado de una medición, de aquí en adelante llamado efecto sistemático, el efecto puede ser cuantificado y, si es significativo en relación a la exactitud requerida de la medición, una corrección o factor de corrección puede aplicarse para compensar el efecto.

Un resultado indispensable de todo informe de calibración o prueba es la *incertidumbre de medición* en el caso de pruebas, y la *incertidumbre instrumental* en el caso de calibraciones, la cual debe siempre expresarse en forma de *incertidumbre expandida*, éstas se definen como:

**Incertidumbre de Medición** (VIM3 2.27)**Incertidumbre**

Parámetro que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, con base en la información usada.

Notas:

1. La incertidumbre de medida incluye componentes provenientes de efectos sistemáticos, tales como componentes asociadas a correcciones y a los valores asignados de patrones de medida, así como a la incertidumbre intrínseca. Algunas veces no se corrigen los efectos sistemáticos y en su lugar se tratan como componentes de la incertidumbre.
2. El parámetro puede ser por ejemplo, una desviación estándar en cuyo caso se denomina incertidumbre estándar de medición (o un múltiplo de ella), o el semi-ancho de un intervalo a un nivel de confianza determinado.
3. En general al incertidumbre de medida comprende mucho componentes. Algunos de estos pueden ser evaluados por una evaluación tipo A de la incertidumbre de medida a partir de la distribución estadística de valores que provienen de series de mediciones y pueden caracterizarse por desviaciones estándar experimentales. Las otras componentes, que pueden ser evaluadas por evaluación tipo B de la incertidumbre de medida, pueden caracterizarse también por desviaciones estándar, evaluadas a partir de funciones de densidad de probabilidad con base en la experiencia o en otra información.

**Incertidumbre Instrumental** (VIM3 4.23)

Componente de la incertidumbre de medida que proviene del instrumento para medir o del sistema de medida utilizado y que se obtiene mediante su calibración.

Notas:

1. La incertidumbre instrumental es utilizada en la evaluación tipo B de la incertidumbre de medida.
2. La información relativa a la incertidumbre instrumental puede darse en las especificaciones del instrumento.

**Incertidumbre expandida de medida** (VIM3 2.35)

Producto de una incertidumbre estándar combinada de medida y un factor numérico mayor que uno.

Notas:

1. La incertidumbre expandida de medición es denominada “incertidumbre total” en el párrafo 5 de la Recomendación INC-1 (1980) y simplemente “incertidumbre” en documentos IEC.
2. El término “factor” en esta definición se refiere a un factor de cobertura. (GUM 3.3.7) Para satisfacer las necesidades de algunas aplicaciones industriales y comerciales, así como los requerimientos en áreas de salud y seguridad, se obtiene la incertidumbre expandida ...

**Intervalo de cobertura** (VIM3 2.36)

Intervalo que contiene el conjunto de valores verdaderos de un mensurando con una probabilidad declarada con base a la información disponible.

Notas:

1. El intervalo de cobertura no necesita estar centrado en el valor medido de la magnitud. Véase Evaluación de datos de medición - Suplemento 1 a la GUM.
2. Un intervalo de cobertura no debiera ser denominado “intervalo de confianza” a fin de evitar confusión con el concepto estadístico (véase la GUM 6.2.2).
3. Un intervalo de cobertura puede derivarse de una incertidumbre expandida de medida (véase la GUM 2.3.5).

Es muy común encontrar informes de calibración donde se reporta el *error total* sumando algebraicamente el *error de ajuste o sistemático* del instrumento con la *incertidumbre instrumental* encontrados ambos del proceso de calibración,  $E_{total} = \pm(|E| + U)$ , sin embargo es importante atender lo que el VIM3 nos señala en su introducción:

**Error Total** (VIM3 Introducción párrafo 7)

El objetivo de las medidas en el enfoque clásico es determinar un valor tan próximo como sea posible al valor verdadero único.

En el enfoque clásico se supone que los instrumentos y las medidas no proporcionan este valor verdadero a causa de “errores” aditivos: sistemáticos y aleatorios.

Se admite que es siempre posible distinguir estas dos categorías de errores.

Ellos deben ser tratados en la “propagación de errores” de manera diferente, pero no se ha dado ninguna regla justificada para combinarlos en un “error total” que caracterice el resultado de la medición.

Es solamente posible estimar un límite superior del error total, llamado “incertidumbre” en forma un tanto superficial.

En algunas normas el “error total” es llamado:

“**amplitud de error (span error)**” y

“**error absoluto (total) de medición**” en el VIM2 (3.10 n2)

“**Capacidad de medición**”

En informes de calibración o prueba mas elaborados es común que se reporten los resultados referentes a una magnitud de entrada que se mide o calibra de forma indirecta en base a un modelo o función de medición:

**Modelo de Medición** (VIM3 2.48)**Modelo**

Relación matemática entre todas las magnitudes que se conoce intervienen en una medición.

Notas:

1. Una forma general del modelo de medición es la ecuación  $h(Y, X_1, \dots, X_n) = 0$ , en la cual  $Y$ , la magnitud de salida en el modelo de medida es el mensurando a ser determinado a partir de la información sobre las magnitudes de entrada en el modelo de medición  $X_1, \dots, X_n$ .
2. En casos más complejos en los cuales existen dos o más magnitudes de salida, el modelo de medida comprende más de una ecuación.

**Función de Medición** (VIM3 2.49)

Función de magnitudes cuyo valor es un valor de la magnitud de salida en el modelo de medida, cuando se calcula usando los valores conocidos de las magnitudes de entrada en el modelo de medida.

Notas:

1. Si el modelo de medida  $h(Y, X_1, \dots, X_n) = 0$ , puede ser escrito explícitamente como  $Y = f(X_1, \dots, X_n)$ , siendo  $Y$  la magnitud de salida en el modelo de medida,  $f$  es la función de la medida. En forma más general,  $f$  puede simbolizar un algoritmo que, para los valores de la magnitud de entrada  $x_1, \dots, x_n$ , en el modelo de medida da como resultado un valor único de la magnitud de salida  $y = f(x_1, \dots, x_n)$ .
2. La función de medida se usa también para calcular la incertidumbre de medida asociada con el valor medido de la magnitud  $Y$ .

**Diagrama de calibración** (VIM3 4.29)

Expresión gráfica de la relación entre una indicación y el resultado de medición correspondiente.

Notas:

1. Un diagrama de calibración es la banda (franja) del plano definido por el eje de las indicaciones y el eje de los resultados de medición, que representa la respuesta del instrumento para medir a diferentes valores medidos. Corresponde a una relación uno-a-variados, y el ancho de **la banda para una indicación determinada proporciona la incertidumbre instrumental**.
2. Otras expresiones de la relación incluyen una **curva de calibración** con las incertidumbres de medida asociadas, una **tabla de calibración**, o un conjunto de **funciones**.
3. Este concepto es relativo a una calibración donde la incertidumbre instrumental es grande en relación a las incertidumbres de medida de los patrones de medida.

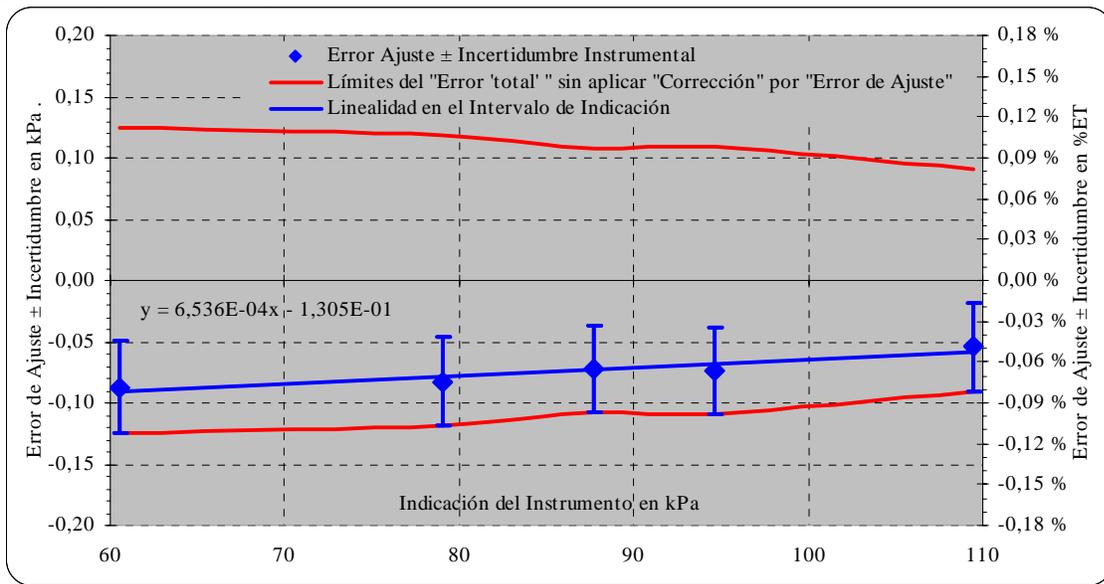
Ejemplo de cuadro (tabla) de calibración.

Punto	Patrón (VIM3 5.1)		Instrumento: Barómetro: sensor + indicador digital. Presión absoluta.				
	Valor de Referencia de la Magnitud (VIM3 5.18)		Indicación (I) (VIM3 2.17) Promedio	Error (E) de Ajuste (VIM3 2.19)		Incertidumbre Instrumental <sup>1</sup> (VIM3 4.23)	
#	hPa	kPa	kPa	kPa	%ET	kPa	%ET
1	606,26	60,626	60,538	-0,087	-0,079 %	±0,038	±0,034 %
2	791,30	79,130	79,047	-0,083	-0,075 %	±0,036	±0,033 %
3	878,27	87,827	87,755	-0,073	-0,066 %	±0,036	±0,032 %
4	947,20	94,720	94,646	-0,074	-0,067 %	±0,036	±0,032 %
5	1 095,27	109,527	109,473	-0,054	-0,049 %	±0,036	±0,033 %

Diagrama de calibración  
SI contiene incertidumbre

Curva de calibración  
NO contiene incertidumbre

Ejemplo de diagrama de calibración, correspondiente al cuadro (tabla) de calibración anterior, donde el eje de resultados incluye: error de ajuste, *banda* de incertidumbre instrumental, y error total con respecto al eje de las indicaciones, así como curva de ajuste (función de medición) donde *x* es la indicación y *y* es el error predicho por la curva de ajuste.



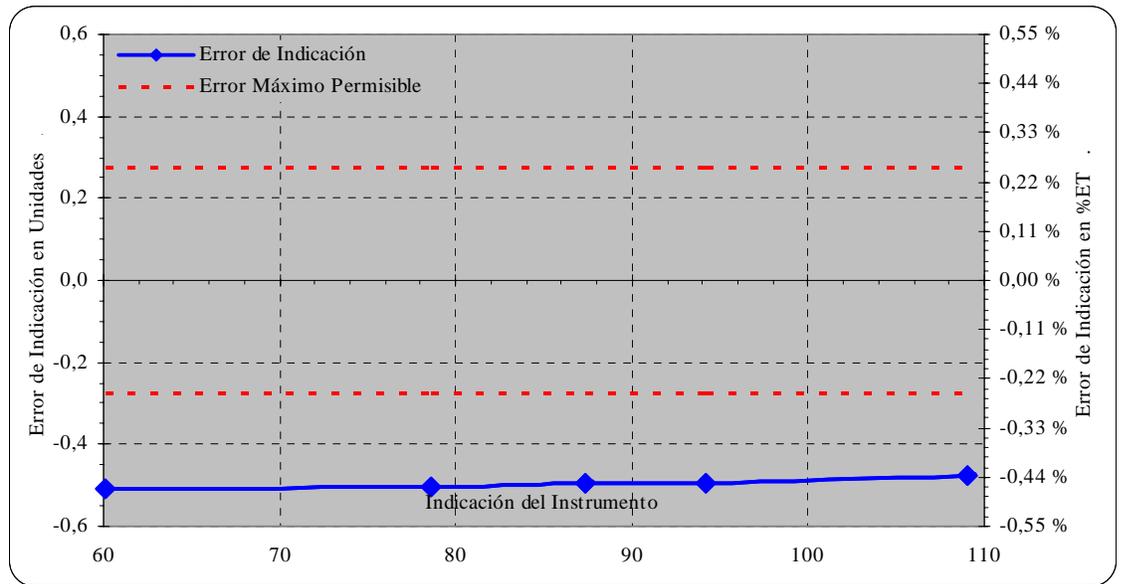
**Curva de calibración** (VIM3 4.30)

Expresión de la relación entre una indicación y el valor medido correspondiente.

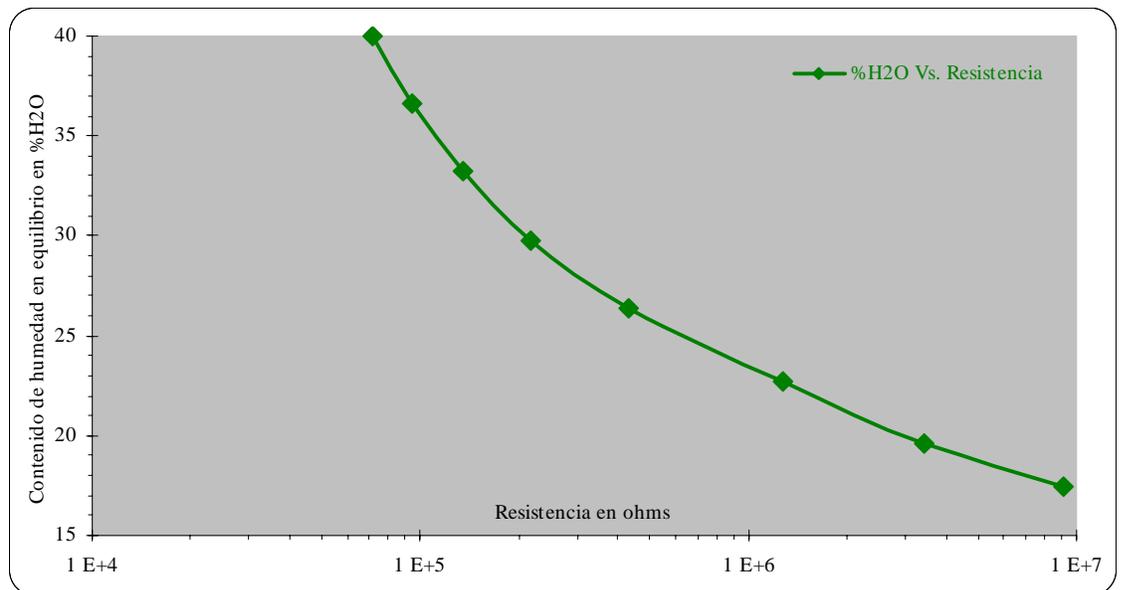
Nota:

Una curva de calibración expresa una relación uno-a-uno que no proporciona un resultado de medición porque **no contiene información sobre la incertidumbre de medida**.

Ejemplo de curva de calibración, con evaluación de conformidad para propósitos de verificar la necesidad de ajuste, no incluye incertidumbre.



Ejemplo de curva de calibración, respuesta del instrumento versus estímulo del mensurando, no incluye incertidumbre.



Aseguramiento de la Calidad  
y  
Validación de Resultados

### ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LOS RESULTADOS

La norma ISO/IEC 17025 en su versión 2005 nos dice en el requisito 5.9 “aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayo y calibración” que el laboratorio debe tener procedimientos de control de calidad apropiados para el tipo y volumen de trabajo del laboratorio, para realizar el seguimiento de la VALIDEZ de los ensayos y calibraciones llevados a cabo, registrarlos con el objetivo de detectar tendencias, y en la medida de lo posible aplicar técnicas estadísticas (por ejemplo prueba *t* y prueba *F*) para la revisión de resultados y puede incluir los elementos siguientes:

- a) uso regular de materiales de referencia certificados (MRC) o secundarios,
- b) Participación en comparaciones interlaboratorio o ensayos de aptitud,
- c) Repetición de ensayos o calibraciones o de la calibración utilizando el mismo método o métodos diferentes,
- d) Repetición del ensayo o de la calibración de los objetos retenidos,
- e) Correlación de resultados para diferentes características de un instrumento.

### Validación o validez de resultados

La validación es la confirmación por examen y la provisión de evidencia objetiva de que se cumplen los requisitos particulares para un uso específico propuesto. En MetAs el control de calidad de los resultados de cada servicio de calibración incluye:

- ✓ Validación de datos, mediante: evaluación de consistencia gráfica,
- ✓ Validación de correcciones y errores, mediante: evaluación de la conformidad contra el error máximo tolerado del instrumento y mediante repetibilidad y consistencia gráfica,
- ✓ Validación de incertidumbres, mediante: evaluación de la conformidad contra la capacidad de medición y calibración acreditada del laboratorio,
- ✓ Validación de errores e incertidumbres, mediante: prueba de linealidad del error normalizado entre puntos de calibración.

En MetAs se ha considerado la graficación de resultados, como la parte esencial en los diferentes procesos de validación incluido entre otros el aseguramiento de la calidad de resultados:

- ✓ Validación de métodos de calibración,
- ✓ Comparación de resultados en comparación de mediciones, pruebas interlaboratorio, o ensayos de aptitud,
- ✓ Estabilidad, deriva y reproducibilidad de patrones mediante gráficos de cartas de control,
- ✓ Validación de resultados de medición, en hojas de cálculo para corrección de patrones de referencia y de trabajo,
- ✓ Validación de resultados de calibración, en la emisión de informes de calibración.

Respecto a la validación y análisis de resultados mediante gráficas, de Baird (1991) nos dice y podemos interpretar que las gráficas, permiten al usuario de servicios de metrología (calibración y prueba) ver el comportamiento del sistema de medición-calibración, y con ello facilitarle su propia apreciación de la VALIDEZ de nuestras afirmaciones sobre los resultados. Una gráfica puede servir como una mera ilustración del comportamiento de un sistema de medición-calibración o como la clave para EVALUAR un experimento y calcular los resultados. Lo cual queda claro en los conceptos *diagrama de calibración* y *curva de calibración* acuñados por el VIM3, que se mostraron en la sección de resultados que se reportan en informes de calibración y prueba.

### REFERENCIAS

- ASTM E 29. (1993). Standard Practice for: Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications. American Society for Testing and Material.
- Baird, D. C. (1991). Experimentación: Una introducción a la teoría de mediciones y al diseño de experimentos. Editorial: Pearson Educación, Prentice Hall.
- BIPM. (1995). Corrigenda to: Guide to the expression of uncertainty in measurement. Second printing edition. BIPM Bureau International des Poids et Mesures. Sevres, France.
- BT-NMX-Z-055-IMNC-2007. (2007). Vocabulario internacional de términos fundamentales y generales de metrología (BORRADOR). IMNC/COTNNMET/SC12. Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, A.C.
- Figueroa Estrada, Juan Manuel. (1993). Análisis estadístico de datos y reporte de incertidumbres. CENAM. Reporte Técnico CNM-MED-PT-0001.
- ISO 5725-2. (1994). International Standard: Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a Standard measurement method. International Organization for Standardization.
- ISO/IEC 17025. (2005). International Standard: General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission.
- ISO VIM (DGUIDE 99999.2). (2006). International vocabulary of basic and general terms in metrology (VIM) (DRAFT). Third edition.
- JCCM. (2006). Evaluation of measurement data—Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” - Propagation of Distributions using a Monte Carlo Method. Final draft, September 2006. BIPM Bureau International des Poids et Mesures. Sevres, France.
- MSA. (2002). Reference manual: Measurement Systems Analysis. Third edition, ASQ, American Society for Quality. AIAG. Automotive Industry Action Group.