

PRECISIONES SOBRE LA EXACTITUD Y OTROS TÉRMINOS RELACIONADOS

Luis A. Santander Romero, Ignacio Hernández Gutiérrez y Rubén J. Lazos Martínez
Centro Nacional de Metrología, Querétaro, México

Resumen

El vocabulario internacional de metrología vigente, VIM 1993, cuya equivalencia en México está en la norma NMX-Z-055-1996-IMNC, incluye términos básicos ampliamente usados en el ámbito de la metrología como *exactitud*, *error*, *repetibilidad* y *sesgo*. En contraste con los documentos anteriores, la norma ISO 5725 parte 2 *Exactitud (veracidad y precisión) de resultados y métodos de medición*, actualmente en revisión como norma mexicana, introduce los términos de *precisión* y *veracidad*. El borrador de la nueva versión del vocabulario internacional de metrología, actualmente en revisión, intenta incorporar todos los términos anteriores.

Por otro lado, la propia norma ISO 5725 parte 2 afirma que la exactitud es descrita por la veracidad y la precisión, lo cual es repetido en literatura especializada, dando lugar a un aparente conflicto con la definición de *exactitud de medición* dada por el VIM 1993 como la proximidad de concordancia entre el resultado de una medición y un valor verdadero del mensurando.

En este trabajo se analizan las definiciones de los términos mencionados, se exponen las relaciones entre ellos y se proponen sus interpretaciones con objeto de ayudar a una mejor comunicación.

1 INTRODUCCIÓN

Es de uso común la ilustración de los términos *exactitud* y *precisión* mediante figuras como las que se muestran.



Figura 1. Representación usual de exactitud y precisión

Actualmente está en proceso la norma 5725-2 como norma mexicana que desde su título está estableciendo que la *exactitud* contiene tanto a la *veracidad* como a la *precisión*, lo cual no concuerda con la utilización de figuras como las mencionadas.

Este trabajo analiza los términos a partir de sus definiciones formales con la intención de hacer propuestas que permitan disminuir las contradicciones y hacer un mejor uso de los términos en las aplicaciones.

2 DEFINICIONES

Las definiciones de los términos a los que se refiere este trabajo se han transcrito, por integridad del mismo, del [VIM 93] cuyo equivalente es la norma mexicana NMX-Z-055-1996-IMNC, de la norma [5725-1] que contiene el vocabulario para la norma [5725-2], del borrador de la norma [3534-1] y del borrador en revisión del [VIM 2004], uno de

cuyos propósitos, se entiende, es integrar las definiciones de términos básicos sobre metrología de los anteriores; también se ha considerado el [ESH]. No se han considerado otras definiciones como las que se encuentran en las normas ISO/IEC 14253 o IEC 60050-300, y otras aplicables a campos más específicos.

Se ha considerado, como es usual, que las notas tienen un fin puramente aclaratorio, y no conllevan extensiones, restricciones o modificaciones a la definición.

Por otro lado, se considera aplicable el principio de sustitución, por el cual un término definido en términos de otros, conserva su sentido cuando se sustituyen las definiciones de los términos que lo componen.

La Tabla 1 muestra las definiciones de los términos *exactitud*, *veracidad*, *precisión*, *sesgo*, *repetibilidad*, *reproducibilidad*, *error*, *error sistemático* y *error aleatorio* transcritas de los documentos que se refieren.

3 OBSERVACIONES SOBRE LAS DEFINICIONES

Desde la emisión de la primera versión del VIM en 1993, las definiciones han evolucionado mediante la actualización de los términos, sin embargo han conservado la esencia de los conceptos.

REFERENCIA	Exactitud	Veracidad	Precisión	Sesgo	Repetibilidad	Reproducibilidad	Error	Error sistemático	Error aleatorio
VIM 93	3.5 Proximidad de concordancia entre el resultado de una medición y el valor verdadero del mensurando. Notas: 1. Exactitud es un concepto cualitativo. 2. El término precisión no debe ser utilizado por exactitud.			5.25 Error sistemático de la indicación de un instrumento de medición. Nota: El sesgo de un instrumento de medición es normalmente estimado por el promedio del error de indicación sobre un apropiado número de mediciones repetidas.	3.6 Proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando llevadas a cabo bajo las mismas condiciones de medición. Notas: 1. Estas condiciones son llamadas condiciones de repetibilidad. 2. Condiciones de repetibilidad incluye: mismo procedimiento de medición; mismo observador; mismo instrumento de medición; mismo lugar; repeticiones sobre periodos cortos de tiempo. 3. La repetibilidad puede ser expresada cuantitativamente en términos de la dispersión característica de los resultados.	3.7 Proximidad de concordancia entre los resultados de medición del mismo mensurando llevadas a cabo bajo condiciones cambiadas de medición. Notas: 1. Una declaración válida de la reproducibilidad requiere la especificación de las condiciones cambiadas. 2. Las condiciones cambiadas pueden incluir: principio de medición; método de medición; observador; instrumento de medición; lugar; condiciones de uso; tiempo. 3. La reproducibilidad puede ser expresada cuantitativamente en términos de la dispersión característica de los resultados.	3.10 Resultado de una medición menos un valor verdadero del mensurando. Notas: 1. Como un valor verdadero no puede ser determinado, en la práctica se considera un valor convencionalmente verdadero. 2. Cuando es necesario distinguir error de error relativo, el anterior es algunas veces llamado error absoluto de medición. Este no debe ser confundido con el valor absoluto de error, el cual es el módulo del error.	3.14 Media que puede resultar de un número infinito de mediciones del mismo mensurando bajo condiciones de repetibilidad menos un valor verdadero del mensurando. Notas: 1. Error sistemático es igual al error menos el error aleatorio. 2. Como el valor verdadero, error sistemático y sus causas no pueden ser completamente conocidas. 3. Para instrumentos de medición sea sesgo.	3.13 Resultado de una medición menos la media que resultaría de un número infinito de mediciones del mismo mensurando bajo condiciones de repetibilidad. Notas: 1. El error aleatorio es igual al error menos el error sistemático. 2. Debido a que solamente un número finito de mediciones puede ser realizado, solamente se puede hacer una estimación del error aleatorio.
VIM 2004	A2 Proximidad de concordancia entre el valor de una magnitud obtenido por medición y el valor verdadero del mensurando. Nota: 1. La exactitud no puede ser expresada como un valor numérico. 2. La exactitud esta inversamente relacionada con el error sistemático y el error aleatorio. 3. El término "exactitud de medición" no debe ser utilizado por veracidad de medición y el término "precisión de medición" no debe ser utilizado por "exactitud de medición".	A4 Proximidad de concordancia entre el promedio de un número infinito de valores de una magnitud obtenidos bajo condiciones específicas de medición y el valor verdadero del mensurando. Nota: 1. La veracidad no puede ser expresada como un valor numérico. 2. La veracidad es inversamente relacionada al error sistemático únicamente. 3. El término "veracidad de medición" no debe ser utilizado por exactitud de medición.	2.35 Proximidad de concordancia entre los valores de una magnitud obtenidos por réplicas de mediciones de una magnitud, bajo condiciones especificadas. Notas: La precisión de medición es usualmente expresada numéricamente por medidas de la imprecisión, como una desviación estándar, varianza o coeficiente de variación bajo las condiciones especificadas para la medición.	A14 Error sistemático de un sistema de medición. Nota: El sesgo de un sistema de medición es el promedio de los errores de indicación de un número infinito de mediciones del mismo mensurando llevadas a cabo bajo condiciones de repetibilidad.	2.37 Precisión bajo condiciones de repetibilidad de medición.	2.41 Precisión bajo condiciones de reproducibilidad de medición.	A5 Diferencia entre el valor de una magnitud obtenida por medición y el valor verdadero del mensurando. Nota: Es necesario hacer la distinción entre error de medición y error relativo de medición.	A8 Diferencia del promedio de un número infinito de mediciones replicadas del mismo mensurando llevadas a cabo bajo condiciones de repetibilidad y el valor verdadero del mensurando. Notas: 1. El error sistemático y sus causas pueden ser conocidas o no. Se debe de aplicar una corrección para el error sistemático. 2. El error sistemático es la diferencia entre el error y el error aleatorio.	A7 Diferencia entre el valor de la magnitud obtenido por medición y el promedio de un número infinito de réplicas de la medición del mismo mensurando llevadas a cabo bajo condiciones de repetibilidad. Notas: 1. El error aleatorio de un conjunto de mediciones replicadas con una distribución, puede ser descrito por una varianza y tiene una esperanza de cero. 2. El error aleatorio es la diferencia entre el error y el error sistemático.
5725-1	Proximidad de concordancia entre un resultado de prueba y el valor de referencia aceptado. Nota: El término exactitud, cuando aplica a un conjunto de resultados, involucra una combinación de componentes y un error sistemático común o un componente de sesgo.	Proximidad de concordancia entre el valor promedio obtenido de un número grande de resultados de prueba y un valor aceptado de referencia. Nota: 1. La medición de la veracidad es usualmente expresada en términos del sesgo. 2. La veracidad ha sido utilizada como la exactitud de la media. Este uso no es recomendado.	Proximidad de concordancia entre resultados de prueba independientes obtenidos bajo condiciones estipuladas. Nota: 1. La precisión depende únicamente de distribución de errores aleatorios y no relaciona el valor verdadero el valor especificado. 2. La medición de precisión usualmente es expresada en términos de imprecisión y calculada como una desviación estándar de los resultados de prueba. 3. Resultados de prueba independientes significa resultados obtenidos de una manera no influenciados por un resultado previo sobre el mismo objeto de prueba.	Diferencia entre la esperanza de los resultados de prueba y un valor de referencia aceptado. Nota: Sesgo es el error sistemático total que se diferencia del error aleatorio. Puede haber una o mas componentes de error sistemático contribuyendo al sesgo. Una diferencia sistemática grande respecto al valor de referencia aceptado es reflejado en por un valor de sesgo grade.					
3534-1	3.11 Proximidad de concordancia entre un resultado de prueba y el valor de referencia aceptado. Nota: El término exactitud, cuando se aplica a un conjunto de resultados de prueba, involucra una combinación de componentes aleatorias con un error sistemático común o con un componente de sesgo.	3.12 Proximidad de concordancia entre el valor promedio obtenido de un número grande de resultados de prueba y un valor aceptado de referencia. Notas: 1. La medida de la veracidad es usualmente expresada en términos del sesgo. 2. La veracidad ha sido utilizada como la exactitud de la media. Este uso no es recomendado.	3.14 Proximidad de concordancia entre resultados de prueba independientes obtenidos bajo condiciones estipuladas. Notas: 1. La precisión depende únicamente de la distribución de errores aleatorios y no se relaciona con el valor verdadero o el valor especificado. 2. La medida de la precisión usualmente es expresada en términos de imprecisión y calculada como una desviación estándar de los resultados de prueba. Una menor precisión se refleja como una desviación estándar grande. 3. Resultados de prueba independientes significa resultados obtenidos de una manera tal que no haya influencia de un resultado previo sobre el mismo objeto de prueba.	3.13 Diferencia entre la esperanza de los resultados de prueba y un valor de referencia aceptado. Nota: Sesgo es el error sistemático total, en contraste al error aleatorio. Puede haber una o mas componentes de error sistemático contribuyendo al sesgo. Una diferencia sistemática grande respecto al valor de referencia aceptado es reflejado por un valor de sesgo grande.	3.15 Precisión estimada bajo condiciones de repetibilidad.	3.20 Precisión bajo condiciones de reproducibilidad.	3.8 Resultado de prueba menos el valor de referencia aceptado (de una característica). Nota: El error es la suma de los errores aleatorios y errores sistemáticos.	3.10 Componente del error en la cual, en el curso de un número de resultados de prueba para la misma característica, se mantiene constante o varia de manera predecible. Nota: Los errores sistemáticos y sus causas pueden ser conocidos o desconocidos.	3.9 Componente del error en la cual, en el curso de un número de resultados de prueba para la misma característica, varia de manera impredecible. Nota: No es posible corregir el error aleatorio.
ESH	En metrología, la variación de medición total incluyendo no solamente la precisión, sino también el error sistemático entre el promedio de los valore medidos y el valor verdadero.		En metrología, la variabilidad de un proceso de medición alrededor de su valor promedio. La precisión es usualmente distinguida de la exactitud. La precisión puede ser descompuesta en variación a corto plazo o repetibilidad y variación a largo plazo o reproducibilidad.	Diferencia entre el promedio o valor esperado de una distribución y el valor verdadero. En metrología la diferencia entre precisión y exactitud la medición de precisión no es afectada por el sesgo, mientras que la media de la exactitud se degrada con el incremento del sesgo.	En metrología, la componente de medición de precisión que es la variabilidad a corto plazo y que ocurre bajo situaciones altamente controladas.	En metrología, la medición total de la precisión, especialmente incluyendo las componentes de variabilidad que ocurren a largo plazo y ocurren entre un instrumento de medición y otro, un laboratorio y otro, etc.			

Tabla 1. Definiciones. Los números al inicio de cada una indican la cláusula del documento respectivo. En su caso, las traducciones son libres.

Términos relacionados con la proximidad al valor verdadero

Error

- Se conserva como una definición operacional en términos algebraicos, por tanto de carácter cuantitativo.
- Incorpora el valor verdadero del mensurando como referencia.
- Reconoce la imposibilidad de conocer el valor verdadero del mensurando y sugiere la utilización de un valor convencionalmente verdadero.
- Ausente en 5725, aunque analiza cada una de sus componentes.
- Es coherente con el cambio de la expresión *resultado de medición*, VIM 93, a *valor de una magnitud obtenido por medición*, VIM 2004.
- El error está compuesto de una componente sistemática y otra aleatoria. La segunda componente puede ser estimada únicamente cuando se dispone de más de un resultado de medición.
- El resultado de una medición al que se refiere el error depende de la manera de definir el mensurando. Si el resultado de medición significa el resultado de una lectura, puede hablarse del error asociado a este resultado de medición; pero también el resultado de la medición puede ser por ejemplo el promedio de lecturas, y entonces puede hablarse del error de la medición como un valor asociado al conjunto de lecturas.

Error sistemático

- Como el concepto de error que le da origen, es de carácter cuantitativo y usa el valor verdadero del mensurando como referencia.
- Incorpora el requisito de un número infinito de mediciones bajo condiciones de repetibilidad.
- Su valor se calcula con todas las componentes sistemáticas que se conozcan. Cabe recordar que una de las funciones del metrologo es identificar todos los errores sistemáticos presentes en una medición.

Veracidad

- Tiene su origen en [5725-1], se menciona en [3534-1], no está incluida en el [VIM 93], y aparece en el [VIM 2004].
- Es definida mediante la expresión *proximidad de concordancia*.

- El cambio de la expresión *valor de referencia aceptado* a *valor verdadero del mensurando* es coherente con el la evolución de otros términos.
- Sugiere una comparación entre el promedio de un número grande de resultados de medición, infinito en el VIM 2004, y un *valor de referencia aceptado*, el *valor verdadero del mensurando* en VIM 2004.
- Una manera natural de cuantificarla sería mediante el error sistemático.
- En una nota de la definición del VIM 2004 se afirma que la veracidad no puede ser expresada con un valor numérico. Aunque en otra nota comenta que está en relación inversa con el error: a mayor error corresponde menor veracidad, relación similar a la repetibilidad y la precisión, por lo cual no es clara la razón por la cual la veracidad no pueda ser expresada como un valor numérico.

Sesgo

- En [Z55] el término aparece como el *error de ajuste* de un instrumento de medición, posiblemente inspirado en la versión francesa en el [VIM93].
- La [3534-1] define al sesgo de manera más general como el valor esperado del error de estimación.
- El concepto operacional del promedio del error se observa en todas las versiones.
- No obstante, el [VIM 93] y el [VIM 2004] se refieren a una característica de un instrumento de medida, la [5725-1] a resultados de medición y por tanto coincide con la definición de error sistemático del [VIM 93] y el [VIM 2004].
- El [VIM 93] y el [VIM 2004] lo identifican con el promedio del error de indicación.
- Implica la diferencia entre el valor obtenido de un número grande de resultados de medición en condiciones de repetibilidad y un valor de referencia.
- Cuando las mediciones son por lectura directa, su valor numérico coincide con el valor del error sistemático de las mediciones.

Términos relacionados con la dispersión de los resultados

Precisión

- Se observa consistencia entre [VIM 2004], [3534-1], [5725-1] en el cambio de resultados de prueba a valores de una magnitud.

- La precisión se determina como la dispersión de los resultados de prueba realizados en condiciones estipuladas.
- Se considera como un término cuantitativo debido a que todas las referencias sugieren los parámetros para caracterizar tal dispersión.
- En la [5725-2] y en [ESH] establecen que se requiere determinar la repetibilidad y reproducibilidad, para estimar la precisión.
- No está declarado expresamente el carácter cualitativo o cuantitativo del concepto; por un lado se define en términos de la proximidad de concordancia, asociado a veces a conceptos cualitativos, y por otro lado menciona formas de expresión numérica de la misma.

Repetibilidad

- El término es aplicable a resultados de mediciones.
- Aún cuando el [VIM 93] la define en términos de la proximidad de concordancia, se menciona que puede ser expresada en términos cuantitativos.
- El [VIM 2004] la define en términos de *precisión de la medición* y usa el principio de sustitución para indicar las condiciones de la medición.
- El [VIM 2004] explicita las condiciones, a diferencia del [VIM 93] que se refiere a las *mismas condiciones*, y sólo en una nota se refiere a algunas condiciones específicas, sin excluir otras.

Fidelidad / repetibilidad (de un instrumento de medición)

- Debe considerarse que el término *repetibilidad de un instrumento de medición* o *fidelidad* es aplicable a instrumentos de medición, aún cuando su valor numérico pueda coincidir con la repetibilidad de mediciones cuando las mediciones son hechas por lectura directa.

Reproducibilidad

- Usualmente se considera que las condiciones varían discretamente de un valor fijo a otro valor fijo. No obstante, también puede interpretarse en el sentido de que la variación pueda ser continua.
- De manera análoga a la repetibilidad, el VIM 2004 define el término en términos de precisión de medición y lo sujeta a las condiciones de reproducibilidad definidas por separado.

Exactitud

- Desde su origen mantiene la expresión definitoria *proximidad de concordancia*.
- En 5725 contiene como referencia *un valor de referencia aceptado* el cual tiene su contraparte en *un valor verdadero del mensurando* en el VIM 93 y *el valor verdadero del mensurando* en el VIM 2004.
- El [VIM 93] y [VIM 2004] lo declaran como un término cualitativo.
- El [VIM 2004] a pesar de que lo declara como un término cualitativo, coincide con [3534-1], [5725-1] y [ESH] donde se declara que existe una relación con el error sistemático y el error aleatorio.

4 DISCUSIÓN

En este trabajo encontramos dos aspectos esenciales de discusión sobre el término *exactitud*: su carácter cualitativo o cuantitativo, y la declaración frecuente de que incluye tanto la veracidad como la precisión.

Una nota en la definición del [VIM 93] y el [VIM 2004] de exactitud establece que el concepto es cualitativo. Por el contrario, el concepto, o expresiones donde aparece el concepto, lo utilizan generalmente con un carácter cuantitativo; baste mencionar los siguientes ejemplos:

- Los fabricantes de instrumentos incluyen frecuentemente una expresión cuantitativa de la exactitud como parte de las características de sus productos. Esta expresión incluye el caso de peor comportamiento posible, incluyendo las componentes sistemáticas y aleatorias [HMS].
- El concepto *clase de exactitud* [VIM 93, 5.19] se refiere a la clase de instrumentos que satisfacen ciertos requisitos metrológicos destinados a conservar los errores dentro de los límites especificados, y por tanto requiere de valores – conceptos cuantitativos – para establecer los requisitos metrológicos. Cabe notar que el principio de sustitución no es aceptado en el término *clase de exactitud*.

Desde nuestro punto de vista, la **definición** de la *exactitud* no tiene elementos que puedan justificar plenamente la afirmación de que incluye la *veracidad* y la *precisión*. Se reconoce que la definición en sus versiones dadas en [5725-1, 3.6] y en [VIM

2004, A2] muestra notas – aclaratorias – que declaran la relación de la exactitud con el error sistemático y el error aleatorio. En este mismo sentido, en la Introducción de [5725-2] se encuentra la afirmación de que “Precisión ... junto con la veracidad, es el otro componente del concepto cualitativo exactitud”. Esta afirmación es reproducida en su esencia en documentos emitidos por prestigias instituciones como [A. Forbes] “ISO 5725 addresses the accuracy of measuring equipment or proposed measurement methods in terms of trueness and precision”.

En 1988, Ku [NBS] del prestigioso NBS, hoy NIST, afirma que la exactitud contiene tanto al sesgo –ahora entendido como error sistemático–, como a la precisión, y propuso usar un índice de exactitud formado por dos números, uno que indique el sesgo, y otro para indicar la precisión.

Es notable que el concepto de incertidumbre de la medición no esté mencionado en ninguna de las versiones de la definición de exactitud.

El DKD, reconocido organismo acreditador, usa [DKD] la suma del error con la incertidumbre de medición expandida para asignar un valor numérico a la exactitud. De manera similar, los requisitos metrologicos relacionados con las clases de exactitud de pesas están establecidos [OIML] en términos del error y la incertidumbre.

El término sesgo también está sujeto a discusión: en algunas ocasiones se utiliza con el concepto establecido en [5725-1], en la cual se asocia a resultados de medición, y en otras se refiere a las características de instrumentos de medición, siguiendo al [VIM 93] y a [VIM 2004].

5 CONCLUSIONES

En nuestra opinión, los términos *exactitud* y *veracidad* bajo la consideración de estar limitados por su carácter cualitativo son útiles para facilitar el lenguaje, y evitar las aclaraciones siempre necesarias de expresiones como *gran repetibilidad*, en las que no queda claro si las mediciones aludidas tienen una baja o alta dispersión. Al respecto, cabe recordar el bien conocido enunciado de Lord Kelvin en el sentido de la necesidad de cuantificar, por lo que los términos con carácter cualitativo no tendrían tanta utilidad como los cuantitativos.

El uso de la expresión *proximidad de concordancia* no es concluyente sobre el carácter del término con él definido.

Se propone entonces modificar las definiciones de modo que los términos

tengan un carácter cuantitativo, en este caso la *veracidad* perdería su razón de ser porque sería equivalente a *error sistemático*. La definición de *exactitud* puede actualizarse de manera tal que

- obtenga de origen un carácter cuantitativo, se distinga del error,
- contenga tanto el *error sistemático* como a la *incertidumbre de la medición* (ver figura 2),
- acepte la aplicación del principio de sustitución en términos como *clase de exactitud*.

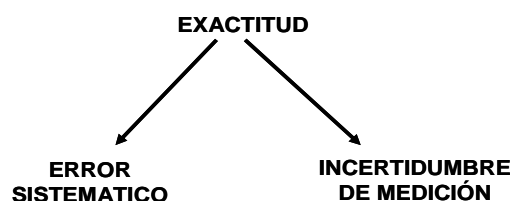


Figura 2. Componentes de la exactitud

La figura 3, adaptada de [AMC], muestra una interpretación gráfica del término *exactitud*.

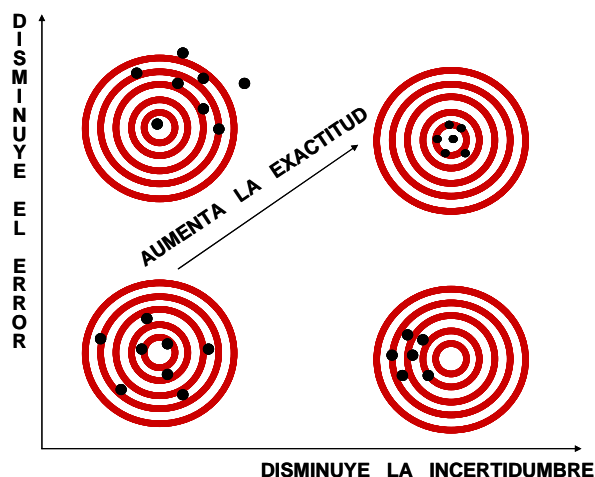


Figura 3. Representación de la exactitud, conforme a esta propuesta. Se considera que cada punto en las dianas no es debido exclusivamente a un solo efecto.

En relación a esta propuesta, la redacción de la definición de *exactitud* se puede aprovechar la forma operacional en que se calcula la exactitud, por ejemplo la expuesta en [DKD].

Con respecto al sesgo, se considera deseable uniformizar su entendimiento y evitar discrepancias entre los distintos documentos usados en metrología, independientemente de su especialidad.

Los autores consideran conveniente que esta propuesta se discuta en los foros apropiados, con la esperanza de que los argumentos expuestos contribuyan a

mejorar la comunicación entre los metrologos.

6 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Ma. Guadalupe Velasco Blanco la propuesta del tema y a Félix H. Pezet Sandoval la revisión del documento.

7 REFERENCIAS

[VIM 93] BIPM: International vocabulary of basic and general terms in metrology, 1993.

[Z55] NMX-Z-055-1996-IMNC Metrología – Vocabulario de términos generales y fundamentales.

[VIM 2004] ISO VIM (DGUIDE 99999): International vocabulary of basic and general terms in metrology, 2004.

[5725-1] ISO 5725-1:1994: Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results -- Part 1: General principles and definitions.

[5725-2] ISO 5725-2:1994: 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.

[3534-1] ISO 3534-1:1993: Statistics -- Vocabulary and symbols -- Part 1: Probability and general statistical terms.

[DKD] Guía DKD-R 6-1 Calibración de medidores de pistón, diciembre 1998.

[A. Forbes] Alistair Forbes, NPL SSfM Newsletter, 17 (2005) p. 7.

[OIML] OIML R 111:1994 Weights of classes E_1 , E_2 , F_1 , F_2 , M_1 , M_2 , M_3 .

[NBS] Harry H. Ku, Statistical concepts in metrology with a postscript on statistical graphics, NBS Special Publication 747, 1988.

[HMS] Fraden Jacob, Handbook of modern sensors, American Institute of Physics, 1997.

[ESH] NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods, <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/glossary.htm>, septiembre 2005.

[AMC] AMC Technical brief, Terminology - the key to understanding analytical science. Part 1: Accuracy, precision and uncertainty, No. 13 Sep 2003, Royal Society of Chemistry.