

ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE ANALÍTICA SIMPLIFICADA

NT N° 115 AÑO 2023 V0

AUTOR:

BQ. Ricardo Schroeder Sánchez.
Laboratorio de Toxicología Ocupacional.
Instituto de Salud Pública de Chile.

REVISORES:

Profesionales
Laboratorio de Toxicología Ocupacional.
Instituto de Salud Pública de Chile.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, los laboratorios de análisis químico deben demostrar que sus métodos proporcionan resultados fiables y adecuados para la finalidad o propósito previsto. Por consiguiente, además de verificar su trazabilidad, es necesario suministrar un parámetro que proporcione una noción del grado de confianza de los resultados informados. Es decir, un parámetro que refleje en que magnitud el resultado analítico puede diferir del valor considerado verdadero. Ese parámetro es la incertidumbre asociada.

Junto con la trazabilidad, la incertidumbre es un concepto metrológico fundamental. Por otra parte, para un resultado analítico, la precisión y la incertidumbre son conceptos muy relacionados. Sin embargo, la incertidumbre es un concepto más amplio porque considera todas las posibles fuentes de error.

Además, el valor de la incertidumbre puede ser considerado como una indicación cuantitativa de la calidad de un resultado analítico permitiendo comparar resultados obtenidos por laboratorios con diferentes metodologías analíticas. Por ejemplo, si el laboratorio A entrega un resultado de 35 µg/dL de plomo en sangre y el laboratorio B de 40 µg/dL, no podemos comparar ambos resultados. Pero si el laboratorio A informa el resultado con una incertidumbre de ± 5 µg/dL y el laboratorio B con una incertidumbre de ± 4 µg/dL, ya podemos comparar ambos resultados, esto es (35 ± 5) µg/dL y (40 ± 4) µg/dL. Esta nota técnica mostrará cómo se estima la incertidumbre y las fuentes que inciden en ella.

La definición que describe el Vocabulario Internacional de Metrología (VIM) para la incertidumbre es “*parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza*”. De acuerdo con esa definición, la incertidumbre del resultado de una medida analítica refleja la imposibilidad de conocer el valor del mensurando con exactitud.

II. ALCANCE.

Proporcionar información técnica relevante sobre la importancia de la incertidumbre en los resultados analíticos de laboratorios químicos. Se abordará el cálculo de la incertidumbre y su aplicación en la evaluación de la calidad de los resultados. Además, se explorarán diversas fuentes de incertidumbre y se analizarán conceptos metrológicos claves para garantizar resultados analíticos de alta calidad en laboratorios químicos. Este conocimiento es fundamental en la formulación de reglas de decisión.

III. USUARIOS.

Profesionales de laboratorios químicos, estudiantes y a cualquier persona interesada en evaluar la calidad de los resultados analíticos. Se espera que esta guía contribuya a una mejor comprensión de la incertidumbre en los resultados analíticos y su aplicación en la evaluación de la calidad de los mismos.

IV. DESARROLLO.

1. FUENTES DE INCERTIDUMBRE.

a. Definición incompleta del mensurando.

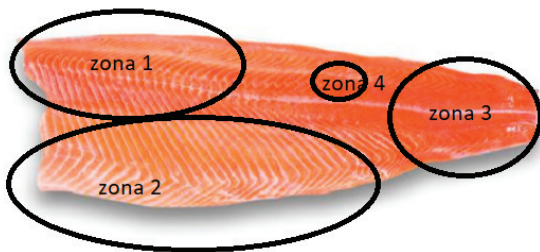
La definición incompleta del mensurando introduce en la incertidumbre del resultado de una medición una componente que puede ser o no significativa, dependiendo de la exactitud requerida en la medición.

Ejemplo: Si la longitud de una barra de acero de valor nominal un metro debe determinarse con **exactitud micrométrica**, su especificación debe incluir la temperatura y la presión a las que se define la longitud, pues, en esa resolución, la longitud de la barra será afectada por estas condiciones. Así, el mensurando debe especificarse, por ejemplo, como la longitud de la barra a 25,00 °C y a 101 325 Pa (más cualquier otro parámetro que

se considere necesario, como la forma en que la barra debe estar apoyada). No obstante, si la longitud va a determinarse únicamente con **exactitud milimétrica**, su especificación no requerirá definir una temperatura y/o una presión, ni el valor de ningún otro parámetro, ya que los cambios en la longitud de la barra serán despreciables.

b. Realización imperfecta de la definición del mensurando.

Ejemplo: la figura nos muestra un filete de salmón en el que se han definido 4 zonas, y que a simple vista se visualiza tienen distintas coloraciones. Por definición se estableció la zona 4 para tomar la muestra siempre de ese sector, minimizando las variaciones debidas a la heterogeneidad de la muestra



c. Muestra no representativa del mensurando.

Ejemplo: La muestra analizada puede no representar al mensurando definido. Se define que una muestra es representativa cuando la selección de los elementos de la población se realiza aleatoriamente y cuando cada elemento tiene la misma posibilidad de ser seleccionado.

d. Conocimiento inadecuado de los efectos de las condiciones ambientales sobre la medición o medición imperfecta de dichas condiciones ambientales.

Ejemplo: un ensayo gravimétrico requiere condiciones experimentales altamente controladas. La especificación metrológica indica que la temperatura debe estar en $20 \pm 1^\circ\text{C}$ pero el control se realiza con un instrumento cuya "exactitud" es $\pm 2^\circ\text{C}$.

e. Lectura sesgada de instrumentos analógicos, por parte del analista.

Ejemplo: Al aforar un matraz. Un técnico puede visualizar el aforado desde ángulos levemente diferentes, lo que producirá pequeñas variaciones en el volumen final contenido en el matraz.

f. Resolución del instrumento de medida.

Mínima diferencia entre indicaciones visualizadas, que puede percibirse de forma significativa. Ejemplo: el último dígito de una balanza digital.

g. Valores inexactos de los patrones de medida o de los materiales de referencia.

Ejemplo: la incertidumbre declarada en los certificados de calibración de los patrones o materiales de referencia certificados.

h. Valores inexactos de constantes y otros parámetros obtenidos de fuentes externas, utilizados en el algoritmo de tratamiento de datos.

Ejemplo: El número pi es un número decimal infinito no periódico. Su utilización aproximada es un valor inexacto.

i. Aproximaciones y suposiciones establecidas en el método y procedimiento de medición.

Ejemplo: El redondeo de un valor es una fuente de incertidumbre.

j. Variaciones en la repetición de las observaciones del mensurando bajo condiciones aparentemente idénticas.

Ejemplo: Estudio de la precisión (repetitividad o precisión intermedia)

Estas fuentes no son necesariamente independientes, y algunas de ellas, por ejemplo, desde la a) a la i), pueden contribuir a la fuente 10.

2. ESTIMACIÓN DE LOS TIPOS DE INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN.

Podemos agrupar los componentes de la incertidumbre en dos categorías, según el método de evaluación como componentes de "tipo A" y componentes de "tipo B". Estas son dos formas diferentes de evaluar las componentes de incertidumbre, estando ambas basadas en distribuciones de probabilidad.

2.1. Evaluación Tipo A.

En la evaluación tipo A, el cálculo de la incertidumbre está compuesta por el aporte tanto de la precisión como del sesgo. La incertidumbre del sesgo

se estima únicamente cuando la diferencia entre el valor de referencia y el calculado es estadísticamente significativa.

Ejemplo: en la presente nota técnica estimaremos la incertidumbre típica de la precisión en base al análisis de un número de “n” observaciones independientes entre sí, de una de las magnitudes de entrada que denominaremos “Xi”, las que se asume se realizan bajo las mismas condiciones de medida. Para esta evaluación se asume, además, que los datos tienen una distribución normal o gaussiana.

Entonces, con los siguientes datos hipotéticos de la medición de Creatinina en orina, estimaremos la incertidumbre típica de la precisión.

Tabla 1.

Quantificación de Creatinina en orina en un Material de Referencia Certificado.

Muestra	Creatinina en orina	Unidades
A	0,57	g/L
B	0,63	g/L
C	0,61	g/L
D	0,59	g/L
E	0,60	g/L
F	0,64	g/L
$\bar{x} =$	0,61	g/L

PASO 1:

Calcular la media aritmética o promedio.

Dados los **n** números, la **media aritmética** se define como:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Por tanto, la media aritmética es = 0,61 g/L

PASO 2:

Calcular la Varianza Muestral (S²)

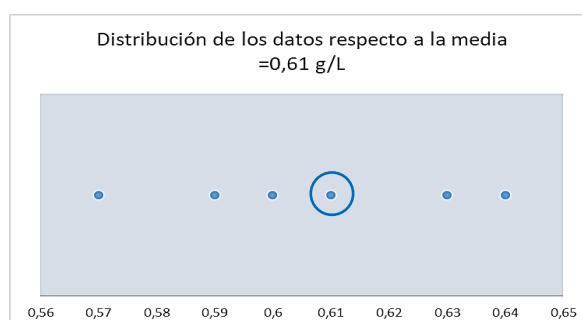
La Varianza muestral es una medida de dispersión que se utiliza para representar la variabilidad de un conjunto de datos respecto de la media aritmética de los mismos. Así, se calcula como la suma de las diferencias de cada medición con respecto de la media aritmética, elevados al cuadrado y divididos por el número total de observaciones menos 1 (n-1).

Sumatoria de los residuos al cuadrado de los n datos dividido por n - 1

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_j - \bar{X})^2}{n - 1}$$

Gráfico 1.

Muestra cómo los datos de Tabla 1 se distribuyen en torno a la media aritmética que está indicada con un círculo azul.



A continuación, en la Tabla 2 se muestra el cálculo de la Varianza muestral con los valores de Creatinina en orina, procedentes de la Tabla 1.

Tabla 2.

N° de muestras	Creatinina en orina	Unidades	Media	Diferencia $(x - \bar{x})$	Diferencia ² (Residuo) ²	Unidades
A	0,57	g/L	0,61	-0,04	0,00134	(g/L) ²
B	0,63	g/L	0,61	0,02	0,00054	(g/L) ²
C	0,61	g/L	0,61	0,00	0,00001	(g/L) ²
D	0,59	g/L	0,61	-0,02	0,00028	(g/L) ²
E	0,6	g/L	0,61	-0,01	0,00004	(g/L) ²
F	0,64		0,61	0,03	0,00111	(g/L) ²
$\bar{x} =$	0,61	g/L		$\Sigma(x - \bar{x})^2$	0,00333	(g/L) ²
				(n - 1) =	5	
				$S^2 = \mu^2$	0,000666667	(g/L) ²
				$S = \mu$	0,02582	g/L

Nota: los cálculos que se muestran en la Tabla 2 se realizaron con planilla Excel y se utilizaron todas las cifras que entregó el software.

Por tanto, la varianza muestral sería la siguiente:
 $S^2 = 0,00067 \text{ (g/L)}^2$.

Este valor representa la incertidumbre de la precisión.

PASO 3:

Calcular la Desviación Típica o Estándar (S).

La medida de dispersión más común es la **desviación típica** que indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media. Mientras mayor sea la desviación típica, mayor será la dispersión de los datos. El símbolo σ (sigma) se utiliza frecuentemente para representar la desviación típica de una población, mientras que s se utiliza para representar la desviación típica de una muestra (una muestra son n datos de una población). La desviación típica de una muestra es la raíz cuadrada de la varianza.

Así, tenemos que la desviación típica es:

$$s = \mu(\text{típica}) = \sqrt{0,000666667} \text{ (g/L)}^2$$

$$S = 0,02582 \text{ g/L.}$$

Este valor representa a la incertidumbre típica de la desviación estándar.

2.2 Evaluación tipo B.

La evaluación tipo B de la incertidumbre típica se utiliza cuando la estimación de la magnitud de entrada x_i no ha sido obtenida a partir de observaciones repetidas. En este caso se puede obtener a partir de:

- Certificados de calibración
- Manuales del fabricante
- Artículos de revista
- Procedimientos técnicos
- Ensayos de aptitud
- Libros guía
- Guías provenientes de industrias
- Entre otros

En general, cuando se declaran las incertidumbres con su factor de cobertura, se asume una distribución normal. Sin embargo, en ocasiones, y dependiendo de lo que se mide, se puede asumir que los datos se distribuyen en una distribución rectangular o triangular, dependiendo del caso.

2.2.1. Incertidumbre para Distribuciones Normales.

Si el certificado de un material de referencia indica un valor de concentración + su incertidumbre expandida (U) y el factor de cobertura (k), la incerti-

dumbre típica se obtiene dividiendo la incertidumbre expandida por el factor de cobertura indicado en el certificado.

$$\mu(p) = \frac{U(p)}{k}$$

Donde:

$\mu(p)$ = Incertidumbre típica del patrón

$U(p)$ = Incertidumbre expandida del patrón.

k = Factor de cobertura

Ejemplo: El certificado de un material de referencia certificado (MRC) de creatinina en orina indica que su concentración es $0,618 \pm 0,013$ (g/L) con un factor de cobertura $k = 2$.

Entonces, la μ típica es $= U/k = 0,013 / 2 = 0,0065$ g/L.

2.2.2. Incertidumbre para distribuciones rectangulares

En los instrumentos de medida digitales, su último valor numérico se asume que tiene una distribución rectangular. Además, existen algunos instrumentos de medida análogos que tienen este tipo de distribución.

$$\mu_{\text{rectangular}} = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

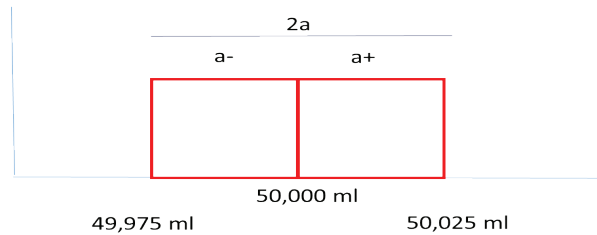
Donde:

a : es la semiamplitud del rango.

Por tanto, 2 veces "a" es el rango (o amplitud) en el que se encuentra el valor verdadero, con igual probabilidad.

La raíz cuadrada de 3 es 1,73, siendo éste el factor de cobertura de un 100 % para este tipo de distribución.

Ejemplo. Medida de volumen con matraz de tipo A. Un matraz aforado de 50 ml tiene un error máximo permitido $= \pm 0,025$ ml.



El volumen medido es 50,000 ml. En este ejemplo, el error máximo permitido es $\pm 0,025$ ml. Por tanto, la amplitud de los valores de volumen va de 49,975 ml a 50,025 ml. La incertidumbre debida a la especificación se asume que sigue una distribución rectangular, obteniéndose dicha incertidumbre de la siguiente forma:

$a-$ = límite inferior = 49,975ml

$a+$ = límite superior = 50,025 ml

$2a = (49,975 - 50,025) = 0,050$ ml

$a = 0,050/2 = 0,025$

Entonces:

$$\mu = 0,025/\sqrt{3} = 0,014 \text{ ml}$$

2.2.3 Incertidumbre para distribuciones triangulares

Se asume que sigue una distribución triangular si no se tiene mayor información respecto a el intervalo de confianza o al factor de cobertura de un instrumento de medición.

$$\mu_{\text{triangular}} = \frac{a}{\sqrt{6}}$$

Donde:

a : es la semiamplitud del rango y su punto más alto, teniendo la más alta probabilidad de encontrar el valor verdadero. Por tanto, 2 veces "a" es el rango (o amplitud).

Ejemplo. Medida de volumen con bureta.

Para una bureta automática de 20 ml, el fabricante indica una incertidumbre de $\pm 0,02$ ml a 20°C. El certificado de calibración, en este caso no indica el factor de cobertura utilizado. Es válido asumir una

distribución triangular debido a que los valores más probables se encuentran en el centro de la distribución y no en los extremos

$$U = \pm 0,02 \text{ ml}$$

La amplitud es 0,04 ml y la semiamplitud es 0,02 ml

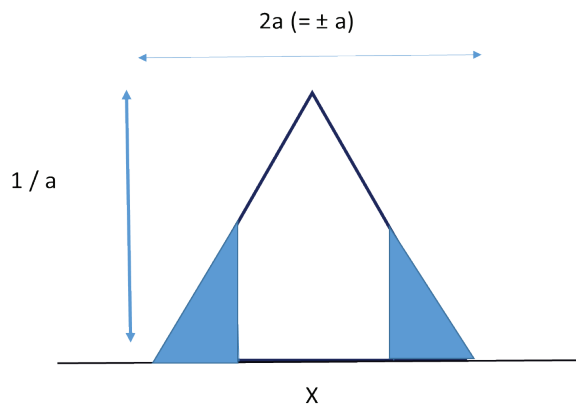
Distribución triangular es $\sqrt{6}$

La raíz cuadrada de 6 es 2,45, siendo éste el factor de cobertura de un 100 % para este tipo de distribución.

El cálculo entonces es:

$$\mu = 0,02/\sqrt{6} = 0,0082\text{ml}$$

Distribución triangular



3. DETERMINACIÓN DE INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR COMBINADA.

La incertidumbre típica combinada μ (típica combinada) es la incertidumbre típica del resultado de una medición cuando el resultado se obtiene de los valores de otras cantidades, y, matemáticamente, es igual a la raíz cuadrada de una suma de términos, los cuales son las varianzas de estas otras cantidades ponderadas.

Ejemplo. Para este caso, integraremos las incertidumbres típicas con las evaluaciones de tipo A y tipo B ya vistas en ejemplos anteriores, para obtener la incertidumbre combinada para la medición de creatinina en orina:

$$\mu(\text{típica combinada}) = \sqrt{\mu(\text{precisión})^2 + \mu(\text{MRC})^2 + \mu(\text{vol. matraz})^2}$$

$$\mu(\text{precisión})^2 = 0,02582 \text{ g/L}$$

$$\mu(\text{MRC})^2 = 0,0065 \text{ g/L}$$

$$\mu(\text{matraz})^2 = 0,014 \text{ ml}$$

Para poder realizar la estimación de la incertidumbre típica combinada, las cantidades deben ser ponderadas, ya sea en términos de coeficiente de variación (CV) o coeficiente de variación porcentual (%CV).

Expresar cada uno de los valores en términos porcentuales (%).

Expresar cada uno de los valores en términos porcentuales (%).

a) Precisión

$$\mu = 0,02582 \text{ g/L}; \text{ Media concentración} = 0,61 \text{ g/L}$$

Por regla de tres se obtiene:

$$x\% = \begin{array}{|l|l|} \hline 0,61 \text{ g/L} & 100\% \\ \hline 0,02582 \text{ g/L} & x\% \\ \hline \end{array}$$

$$\text{Precisión (\%)} = 4,2 \%$$

b) MRCcreatinina

$\mu = 0,0065 \text{ g/L}$;
Concentración MRCcreatinina = 0,618 g/L
Por regla de tres se obtiene:

$$x\% = \begin{array}{|l|l|l|} \hline 0,62 \text{ g/L} & 100\% & \\ \hline 0,0065 \text{ g/L} & x\% & \\ \hline \end{array}$$

MRCcreatinina (%) = 1,05%

c) Volumen del matraz

Volumen matraz = 50 ml; $\mu(\text{matraz}) = 0,014 \text{ ml}$
Por regla de tres se obtiene:

$$x\% = \begin{array}{|l|l|l|} \hline 50 \text{ ml} & 100\% & \\ \hline 0,014 \text{ ml} & x\% & \\ \hline \end{array}$$

Volumen matraz (%) = 0,028 %

La incertidumbre del matraz en este ejemplo es despreciable, no obstante, la incluiremos en el cálculo final.

Para combinar las distintas fuentes de incertidumbre y obtener la Incertidumbre expandida:

$$\mu(\text{típica combinada}) = \sqrt{\mu(\text{precisión})^2 + \mu(\text{MRC})^2 + \mu(\text{vol. matraz})^2}$$

$$\mu(\text{típica combinada}) = \sqrt{4,2\%^2 + 1,05\%^2 + 0,028\%^2}$$

$$\mu(\text{típica combinada}) = \sqrt{17,92\% + 1,11\% + 0,0007840\%}$$

$$\mu(\text{típica combinada}) = \sqrt{19,03\%}$$

$$\mu(\text{típica combinada}) = 4,36\%$$

Se puede expresar el valor calculado en unidades de concentración (g/L):

$$x \text{ (g/L)} = \begin{array}{|l|l|l|} \hline 0,61 \text{ g/L} & 100\% & \\ \hline x \text{ g/L} & 4,36\% & \\ \hline \end{array}$$

μ (típica combinada) = 0,027 g/L

4. INCERTIDUMBRE GLOBAL O EXPANDIDA

La incertidumbre estándar combinada se multiplica por un factor de cobertura “k”, lo que genera una amplificación del rango de la incertidumbre típica, que tiene por objetivo declarar que el valor verdadero se encuentra en ese intervalo con un cierto nivel de confianza, definido por el factor de cobertura utilizado.

Siguiendo con el ejemplo anterior y considerando un factor de cobertura $k = 2$

Incertidumbre U expandida = $2 * 4,36\% = 8,7\%$

Expresión del resultado final:

Concentración de Creatinina en orina = 0,61 (g/L) ± 8,7%

En términos de concentración:

$$x \text{ (g/L)} = \begin{array}{|l|l|l|} \hline 0,61 \text{ g/L} & 100\% & \\ \hline x \text{ g/L} & 8,70\% & \\ \hline \end{array}$$

Concentración de Creatinina en orina = 0,61 ± 0,053 g/L

5. PROPAGACIÓN DE ERRORES DE UN COCIENTE

En el D.S. 594, la mayoría de los analitos medidos en orina, la concentración se informa corregida o normalizada (cc), por la concentración de creatinina. En esos casos, se deben considerar tanto la incertidumbre de la medición del analito como la incertidumbre de la medición de la creatinina.

El modelo matemático que combina ambas incertidumbres en la expresión de concentración de, por ejemplo, un metal, que ha sido corregido por creatinina, está dado por:

$$U_{cc} = k * C_c * \sqrt{\left(\frac{\mu a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\mu b}{b}\right)^2}$$

Donde:

U_{Cc} = Incertidumbre expandida de concentración del metal normalizado por la concentración de creatinina en orina.

k = Factor de cobertura igual a 2.

C_c = Concentración del metal dividido por la concentración de Creatinina en orina

μ_a = Incertidumbre típica de la concentración del metal en orina.

a = Concentración del metal en orina.

μ_b = Incertidumbre típica de la concentración Creatinina en orina.

b = Concentración de Creatinina en orina.

Ejemplo. Informar resultados de Arsénico corregido por creatinina.

Datos:

- La concentración de Arsénico en la muestra orina es 45,0 $\mu\text{g/L}$ con una incertidumbre típica de 3,4 $\mu\text{g/L}$
- La concentración de Creatinina en la muestra de orina es 0,61 g/L, con una incertidumbre típica de 0,027 g/L
- La concentración de Arsénico corregida es la concentración de Arsénico dividido por la concentración de Creatinina en orina = $C_c = (\mu\text{g As/g creatinina}) = 45,0/0,61 = 73,8$
- El factor de cobertura k es 2.
- La fórmula es:

$$U_{cc} = k * C_c * \sqrt{\left(\frac{\mu a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\mu b}{b}\right)^2}$$

Reemplazando los valores entregados tenemos:

$$U_{cc} = 2 * 73,8 * \sqrt{\left(\frac{3,4}{45}\right)^2 + \left(\frac{0,027}{0,61}\right)^2}$$

$$U_{cc} = 12,92 \mu\text{g As/g creatinina}$$

Por lo tanto, y considerando lo señalado en la Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida (GUM), concentración de Arsénico corregido por creatinina expresado con su incertidumbre será:

$$73,8 \pm 13 \mu\text{g As/g Creatinina}$$

Este último ejemplo corresponde a una simplificación de la estimación de la incertidumbre, en donde algunas variables de entrada fueron descartadas por no ser significativas para el valor final.

V. DEFINICIONES

- a. Coeficiente de variación (CV): es una medida de la variabilidad relativa de una distribución de datos. Se calcula como el cociente entre la desviación estándar o típica de los datos y su media.
- b. Coeficiente de variación relativa (CV%): es igual al coeficiente de variación (CV) multiplicado por 100.
- c. Desviación estándar o típica (S): Mide la dispersión o variabilidad de los datos alrededor de la media.
- d. Factor de cobertura (k): número mayor que uno por el cual se multiplica una incertidumbre típica combinada para obtener una incertidumbre expandida.
- e. Incertidumbre típica de la medida (μ): parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza.
- f. Incertidumbre típica combinada de la medida (μ_c): es una medida estadística que se utiliza para estimar la incertidumbre total en una medición, teniendo en cuenta todas las fuentes de incertidumbre involucradas en el proceso de medición.
- g. Incertidumbre expandida (U): producto de una incertidumbre típica combinada (μ_c) y un factor de cobertura.
- h. Magnitud: propiedad de un fenómeno, cuerpo o sustancia, que puede expresarse cuantitativamente mediante un número y una referencia.
- i. Mensurando: magnitud que se desea medir.
- j. Precisión: proximidad entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones especificadas.
- k. Sesgo: indica la diferencia entre el resultado del ensayo esperado y un valor de referencia aceptado. El sesgo es el error sistemático total en contraposición al error aleatorio.
- l. Trazabilidad: la propiedad del resultado de una medida o del valor de un estándar donde éste pueda estar relacionado con referencias especificadas, usualmente estándares nacionales o internacionales, a través de una cadena continua de comparaciones todas con incertidumbres especificadas.
- m. Varianza Muestral (S^2): es una medida de dispersión que se utiliza para representar la variabilidad de un conjunto de datos respecto de la media aritmética de los mismos. Así, se calcula como la suma de los residuos elevados al cuadrado y divididos entre el $n - 1$ de las observaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. Evaluación de Datos de Medición. Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida (GUM). Edición Digital 1 en español (traducción 1ª Ed. Sept. 2008). Primera Edición septiembre 2008 (original en inglés). Centro Español de Metrología.
2. Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos Fundamentales y Generales, y Términos Asociados (VIM). 3ª Edición en español 2012. Traducción de la 3ª Edición del VIM 2008, con inclusión de pequeñas correcciones.
3. Determinación de la Incertidumbre de Medida de Agentes Químicos. Aspectos Generales. CR-05/2009. Mª José Quintana San; José Begoña Uribe Ortega; Natividad Montes Beneitez. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo C/ Torrelaguna, 73 – 28027 Madrid.