	MEDICIÓN Y ANALISIS AMBIENTAL	CODIGO: MA-P-003
		VERSION: 3
		FECHA: 18-10-2019
	PROCEDIMIENTO ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	Página 1 de 14

1. OBJETIVO

Establecer los criterios para la estimación y expresión de la incertidumbre de la medición en los ensayos y calibraciones, evitando toda posibilidad de ocurrencia de aquella situación que pueda afectar el desarrollo normal de las funciones de la entidad y el logro de sus objetivos.

2. ALCANCE

Inicia con el grado de rigor requerido en una estimación de la incertidumbre de la medición, con los requisitos del método de ensayo, los requisitos del cliente hasta la existencia de los límites estrechos en los que se basan las decisiones sobre la conformidad con una especificación.

3. RESPONSABLES

Profesional Especializado grado 19, Profesional Especializado grado 12, Profesional Universitario Grado 11, Técnicos Operativos Grado 15.

4. DEFINICIONES

Condición de repetibilidad de una medición: Condición de medición, dentro de un conjunto de condiciones que incluye el mismo procedimiento de medida, los mismos operadores, el mismo sistema de medida, las mismas condiciones de operación y el mismo lugar, así como mediciones repetidas del mismo objeto o de un objeto similar en un periodo corto de tiempo

NOTA 1 — Una condición de medición es una condición de repetibilidad únicamente respecto a un conjunto dado de condiciones de repetibilidad

NOTA 2 — En química, el término "condición de precisión intra-serie" se utiliza algunas veces para referirse a este concepto.

Condición de reproducibilidad de una medición: Condición de medición, dentro de un conjunto de condiciones que incluye diferentes lugares, operadores, sistemas de medida y mediciones repetidas de los mismos objetos u objetos similares

NOTA 1 — Los diferentes sistemas de medición pueden utilizar diferentes procedimientos de medida.

NOTA 2 — En la práctica, conviene que toda especificación relativa a las condiciones incluya las condiciones que varían y las que no

Confirmación metrológica: Conjunto de operaciones requeridas para asegurar que el equipo de medición es conforme a los requisitos correspondientes a su uso previsto.

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

Error aleatorio de medida: Componente del error de medida que, en mediciones repetidas, varía de manera impredecible

NOTA 1 — El valor de referencia para un error aleatorio es la media que se obtendría de un número infinito de mediciones repetidas del mismo mensurando.

NOTA 2 — Los errores aleatorios de un conjunto de mediciones repetidas forman una distribución que puede representarse por su esperanza matemática, generalmente nula, y por su varianza.

NOTA 3 — El error aleatorio es igual a la diferencia entre el error de medida y el error sistemático.


Error de medida: Diferencia entre un valor medido de una magnitud y un valor de referencia.

NOTA 1 — El concepto de error de medida puede emplearse

a) cuando exista un único valor de referencia, como en el caso de realizar una calibración mediante un patrón cuyo valor medido tenga una incertidumbre de medida despreciable, o cuando se toma un valor convencional, en cuyo caso el error es conocido.

b) cuando el mensurando se supone representado por un valor verdadero único o por un conjunto de valores verdaderos, de amplitud despreciable, en cuyo caso el error es desconocido.

NOTA 2 — Conviene no confundir el error de medida con un error en la producción o con un error humano.

	MEDICIÓN Y ANALISIS AMBIENTAL	CODIGO: MA-P-003
		VERSION: 3
		FECHA: 18-10-2019
	PROCEDIMIENTO ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	Página 2 de 14

Error sistemático de medida: Componente del error de medida que, en mediciones repetidas, permanece constante o varía de manera predecible

NOTA 1 — El valor de referencia para un error sistemático es un valor verdadero, un valor medido de un patrón cuya incertidumbre de medida es despreciable, o un valor convencional.

NOTA 2 — El error sistemático y sus causas pueden ser conocidas o no. Para compensar un error sistemático conocido puede aplicarse una corrección.

NOTA 3 — El error sistemático es igual a la diferencia entre el error de medida y el error aleatorio.

Exactitud de medida: Proximidad entre un **valor medido** y un **valor verdadero** de un **mensurando**.

NOTA 1 — El concepto “exactitud de medida” no es una magnitud y no se expresa numéricamente. Se dice que una **medición** es más exacta cuanto más pequeño es el error de medida.

NOTA 2 — El término “exactitud de medida” no debe utilizarse en lugar de “**veracidad de medida**”, al igual que el término “**precisión de medida**” tampoco debe utilizarse en lugar de “exactitud de medida”, ya que esta última incluye ambos conceptos.

NOTA 3 — La exactitud de medida se interpreta a veces como la proximidad entre los valores medidos atribuidos al mensurando.

Incertidumbre de medida: Parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza

NOTA 1 — La incertidumbre de medida incluye componentes procedentes de efectos sistemáticos, tales como componentes asociadas a correcciones y a valores asignados a patrones, así como la incertidumbre debida a la definición. Algunas veces no se corrigen los efectos sistemáticos estimados y en su lugar se tratan como componentes de incertidumbre.

NOTA 2 — El parámetro puede ser, por ejemplo, una desviación típica, en cuyo caso se denomina incertidumbre típica de medida (o un múltiplo de ella), o una semiamplitud con una probabilidad de cobertura determinada.

NOTA 3 — En general, la incertidumbre de medida incluye numerosas componentes. Algunas pueden calcularse mediante una evaluación tipo A de la incertidumbre de medida, a partir de la distribución estadística de los valores que proceden de las series de mediciones y pueden caracterizarse por desviaciones típicas. Las otras componentes, que pueden calcularse mediante una evaluación tipo B de la incertidumbre de medida, pueden caracterizarse también por desviaciones típicas, evaluadas a partir de funciones de densidad de probabilidad basadas en la experiencia u otra información.

NOTA 4 — En general, para una información dada, se sobreentiende que la incertidumbre de medida está asociada a un valor determinado atribuido al mensurando. Por tanto, una modificación de este valor supone una modificación de la incertidumbre asociada.

Incertidumbre estándar ($u(x_i)$): Cada componente de la incertidumbre expresada como desviación estándar.

Incertidumbre estándar combinada ($u_c(y)$): Es una desviación estándar estimada usando la ley de propagación de incertidumbre, igual a la raíz cuadrada positiva de la varianza total obtenida por la combinación de los componentes de incertidumbre evaluados.

Incertidumbre expandida (U): Cantidad que define un intervalo sobre el resultado de una medición que se puede esperar incluya una gran fracción de la distribución de valores que pueden atribuirse razonablemente al mensurando.

NOTA 1 — La fracción puede ser considerada como la probabilidad de cobertura o nivel de confianza del intervalo.

NOTA 2 — Para asociar un determinado nivel de confianza con el intervalo definido por la incertidumbre expandida se requieren suposiciones explícitas o implícitas con respecto a la distribución de probabilidad caracterizada por el resultado de la medición y su incertidumbre estándar combinada. El nivel de confianza que se puede atribuir a este intervalo puede ser conocido sólo en la medida en que tales suposiciones pueden justificarse.

NOTA 3 — Una incertidumbre expandida U se calcula a partir de una incertidumbre estándar combinada u_c y un factor de cobertura k mediante $U = k \cdot u_c$

K: Factor numérico empleado para multiplicar la incertidumbre estándar combinada con el fin de obtener una incertidumbre expandida. $K = 2$ para un nivel de confianza aproximado del 95%.

Mensurando: Magnitud que se desea medir.

Precisión de medida: Proximidad entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones especificadas

NOTA 1 — Es habitual que la precisión de una medida se exprese numéricamente mediante medidas de dispersión tales como la desviación típica, la varianza o el coeficiente de variación bajo las condiciones especificadas.


NOTA 2 — Las “condiciones especificadas” pueden ser condiciones de repetibilidad, condiciones de precisión intermedia, o condiciones de reproducibilidad (véase la norma ISO 5725-3:1994).

NOTA 3 — La precisión se utiliza para definir la repetibilidad de medida, la precisión intermedia y la reproducibilidad.

NOTA 4 — Con frecuencia, “precisión de medida” se utiliza, erróneamente, en lugar de “exactitud de medida”. Material de referencia certificado

Repetibilidad de medida: Precisión de medida bajo un conjunto de condiciones de repetibilidad

Reproducibilidad de medida: Precisión de medida bajo un conjunto de condiciones de reproducibilidad

	MEDICIÓN Y ANALISIS AMBIENTAL	CODIGO: MA-P-003
		VERSION: 3
		FECHA: 18-10-2019
	PROCEDIMIENTO ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	Página 3 de 14

Sesgo de medida: Valor estimado de un error sistemático

Trazabilidad metrológica: Propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena interrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida

NOTA 1 — En esta definición, la referencia puede ser la definición de una unidad de medida, mediante una realización práctica, un procedimiento de medida que incluya la unidad de medida cuando se trate de una magnitud no ordinal, o un patrón.

NOTA 2 — La trazabilidad metrológica requiere una jerarquía de calibración establecida.

NOTA 3 — La especificación de la referencia debe incluir la fecha en la cual se utilizó dicha referencia, junto con cualquier otra información metrológica relevante sobre la referencia, tal como la fecha en que se haya realizado la primera calibración en la jerarquía.

NOTA 4 — Para mediciones con más de una magnitud de entrada en el modelo de medición, cada valor de entrada debiera ser metrológicamente trazable y la jerarquía de calibración puede tener forma de estructura ramificada o de red. El esfuerzo realizado para establecer la trazabilidad metrológica de cada valor de entrada debería ser en proporción a su contribución relativa al resultado de la medición.

NOTA 5 — La trazabilidad metrológica de un resultado de medida no garantiza por sí misma la adecuación de la incertidumbre de medida a un fin dado, o la ausencia de errores humanos.

NOTA 6 — La comparación entre dos patrones de medida puede considerarse como una calibración si ésta se utiliza para comprobar, y si procede, corregir el valor y la incertidumbre atribuidos a uno de los patrones.

NOTA 7 — La ILAC considera que los elementos necesarios para confirmar la trazabilidad

metrológica son: una cadena de trazabilidad metrológica interrumpida a un patrón internacional o a un patrón nacional, una incertidumbre de medida documentada, un procedimiento de medida documentado, una competencia técnica reconocida, la trazabilidad metrológica al SI y los intervalos entre calibraciones (véase ILAC P-10:2002).

NOTA 8 - Algunas veces el término abreviado "trazabilidad" se utiliza en lugar de "trazabilidad metrológica" así como para otros conceptos, como trazabilidad de una muestra, de un documento, de un instrumento, de un material, etc., cuando interviene el historial ("traza") del elemento en cuestión. Por tanto, es preferible utilizar el término completo "trazabilidad metrológica" para evitar confusión.

Validación: Verificación de que los requisitos especificados son adecuados para un uso previsto.


5. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Norma Técnica Colombiana ISO/IEC 17025, VIM 2012, Guía CG 4 EURACHEM/CITAC: Cuantificación de la Incertidumbre en Medidas Analíticas, Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida (GUM).

6. PROCEDIMIENTO

Se acepta en general que si un resultado es apto para el propósito al cual se destinará, es indispensable realizar una estimación de la incertidumbre de medición y compararla con el nivel de confianza requerido. La incertidumbre está asociada a los instrumentos de medida, al método analítico, al muestreo, al tipo de muestra, entre otros.

No	DESCRIPCION	RESPONSABLE	DOCUMENTOS/REGISTROS
1	Establecer la forma como se presentan los resultados calculados, seguir el método de ensayo y las instrucciones para informar los resultados, teniendo en cuenta los componentes de la incertidumbre que sean de importancia en la situación dada, utilizando los métodos apropiados para el análisis y conocer que las fuentes que contribuyen a la incertidumbre pueden incluir pero no se limitan necesariamente, a los patrones de referencia y los materiales de referencia utilizados, los métodos y los equipos utilizados, las condiciones ambientales, las propiedades y la condición del ítem sometido al ensayo o la calibración y el analista.	Analista responsable	Informe de incertidumbre de medición
2	Además de los lineamientos citados anteriormente, garantizar que todas las condiciones operativas del laboratorio, estén conformes a los requerimientos técnicos: a) Condiciones ambientales controladas, b) Métodos ya validados, c) Equipos calibrados y/o en condiciones estándar de uso, d) Analistas con competencia y autorización para realizar los ensayos a los que se les va a estimar la incertidumbre y e) El uso de reactivos, consumibles, muestras a ensayar y materiales de	Director técnico	

	MEDICIÓN Y ANALISIS AMBIENTAL	CODIGO: MA-P-003
		VERSION: 3
		FECHA: 18-10-2019
	PROCEDIMIENTO ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	Página 4 de 14

<p>referencia preservados y conformes a los requerimientos para el ensayo. (Aplicación de las 5 M o 5 factores que representan las condiciones para el control del proceso y garantizar la confiabilidad en el resultado, así: 1) Medio Ambiente, 2) Métodos, 3) Máquinas- equipos, 4) Mano de obra y 5) Materiales)</p> <p>Es primordial, que la metodología utilizada para la estimación, se fundamente en publicaciones o términos de referencia normativos reconocidos como los citados en los documentos asociados.</p>		
--	--	--

A manera de ejemplo, en los siguientes numerales se presenta tareas que necesitan ser desarrolladas, en los casos que apliquen y/o puedan ser realizadas, para obtener un estimado de la incertidumbre asociado con un resultado de medición.

6.1 ESPECIFICAR EL MENSURANDO

En el contexto de la estimación de la incertidumbre, la “especificación del mensurando” requiere que se redacte una definición clara y sin ambigüedades de lo que está siendo medido y una expresión cuantitativa (fórmula o modelo matemático) que relaciona el valor del mensurando con los parámetros de los que él depende. Estos parámetros pueden ser otros mensurandos, cantidades que no son directamente medidas o constantes. Debe quedar claro si el paso del muestreo queda incluido dentro del procedimiento o no.

Considerando la medición como un proceso, se identifican magnitudes de entrada (variables en las fórmulas) denotadas por el conjunto x_i , expresión en la cual el índice i toma valores entre 1 y el número de magnitudes de entrada n .

La relación entre las magnitudes de entrada X_i y el mensurando Y como la magnitud de salida se presenta como una función

$$Y = f(X_i) = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

En este procedimiento se denotará con x_i al mejor estimado (valor) de las magnitudes de entrada X_i .


Los valores de las magnitudes de entrada pueden ser resultados de mediciones recientes o tomadas de fuentes como certificados, literatura, manuales.

En algunas ocasiones se toma el mejor estimado de Y como el promedio de varios valores $\{y_i\}$ del mensurando obtenido a partir de diversos conjuntos de valores $[X_i]_j$ de las magnitudes de entrada.

6.2 IDENTIFICAR FUENTES DE INCERTIDUMBRE

Se deben listar las posibles fuentes de incertidumbre. Esto incluirá las fuentes que contribuyen a la incertidumbre de los parámetros que se especifican en el inciso 6.1, pero pueden incluir otras fuentes. Algunas fuentes típicas de incertidumbre, son:

- Muestreo
- Condiciones de almacenamiento de la muestra
- Efectos instrumentales
- Pureza de reactivos
- Estequiometría asumida
- Condiciones de medida
- Efectos de la muestra
- Pre tratamiento de la muestra (Digestión, limpieza)
- Efectos computacionales

	MEDICIÓN Y ANALISIS AMBIENTAL	CODIGO: MA-P-003
		VERSION: 3
		FECHA: 18-10-2019
	PROCEDIMIENTO ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	Página 5 de 14

- Corrección por el blanco
- Efectos del operador
- Efectos aleatorios
- Repetibilidad de las lecturas
- Reproducibilidad de la medición por cambio de observadores, instrumentos u otros elementos.
- Material volumétrico
- Toma de muestra

Una recomendación para hallar las fuentes de incertidumbre es iniciar con la expresión básica (formula), usada para calcular el medido a partir de valores intermedios. Todos los parámetros en esta expresión pueden tener una incertidumbre asociada con su valor y son por eso fuentes potenciales de incertidumbre. Adicionalmente pueden haber otros parámetros que no aparecen explícitamente en la expresión usada para calcular el valor del medido, pero sin embargo afectan los resultados de la medición, como por ejemplo el tiempo de extracción o la temperatura: estas son también fuentes potenciales de incertidumbre.

Los diagramas causa-efecto o espina de pescado, son una forma conveniente para listar las fuentes de incertidumbre, pues muestran cómo se relacionan entre ellas e indican su influencia en la incertidumbre del resultado. Esto también ayuda a evitar doble conteo de fuentes.

Una vez la lista de fuentes de incertidumbre es obtenida, sus efectos en principio pueden ser representados por un modelo formal de medición en el cual cada efecto es asociado con un parámetro o variable en la ecuación. La ecuación entonces forma un modelo completo del proceso de medición en términos de todos los factores individuales que afectan el resultado.

Adicionalmente puede ser útil considerar el procedimiento de medición como una serie de operaciones discretas (operaciones unitarias), cada una de las cuales puede ser evaluada por separado para obtener un estimado de la incertidumbre asociado con ella. Esto es particularmente útil cuando procedimientos de medición similares comparten operaciones unitarias comunes.

No es recomendable desechar alguna fuente de incertidumbre por la suposición de que es poco significativa sin una cuantificación previa de su contribución, comparada con las demás y apoyada en mediciones.


6.3 CUANTIFICAR LOS COMPONENTES DE LA INCERTIDUMBRE

Se debe recoger toda la información y datos disponibles a partir de la lista de fuentes de incertidumbre. El objetivo es establecer qué datos están disponibles. Se deben buscar datos de la literatura, especificaciones de equipos, certificados del material de referencia, certificados de calibración. En ocasiones es necesario llevar a cabo experimentos para obtener información. Esta información se va organizando para guiar la estimación de la incertidumbre. La cuantificación puede ser hecha por:

- La evaluación de la incertidumbre proveniente de cada fuente individual, y una posterior combinación de ellas.
- Determinando directamente la contribución combinada a la incertidumbre sobre el resultado de algunas de todas las fuentes usando datos del desarrollo del método.

Debería hacerse una estimación preliminar de la contribución a la incertidumbre de cada componente, o combinación de componentes, y aquellos cuya contribución no sea significativa deberían ser eliminados.

Siguiendo la GUM, se distinguen dos métodos principales para cuantificar las fuentes de incertidumbre: Ambos tipos están basados en distribuciones de probabilidades. La clasificación en tipo A y tipo B no implica ninguna diferencia de naturaleza entre las componentes de estos tipos. La única diferencia es que en las

	MEDICIÓN Y ANALISIS AMBIENTAL	CODIGO: MA-P-003
		VERSION: 3
		FECHA: 18-10-2019
	PROCEDIMIENTO ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	Página 6 de 14

evaluaciones Tipo A se estima esta distribución basándose en mediciones repetidas obtenidas del mismo proceso de medición, mientras que en el Tipo B se supone una distribución con base en experiencia o información externa.

6.3.1 Evaluación Tipo A

La incertidumbre de una magnitud de entrada X_i , obtenida a partir de observaciones repetidas bajo condiciones de repetibilidad, se estima con base en la dispersión de los resultados individuales. La incertidumbre estándar $u(x_i)$ de X_i , se obtiene mediante el cálculo de la desviación estándar experimental de la media:

$$u(x_i) = \frac{s(q)}{\sqrt{n}} = \frac{1}{\sqrt{n}} * \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (q_k - \bar{q})^2}$$

Donde,

$s(q)$ = Desviación estándar experimental,

q_k = Valores de observaciones individuales,

n = Número de repeticiones.

En pocos casos se recomienda o requiere un número mayor de 10 repeticiones. Para determinar el impacto que tiene n en la incertidumbre expandida hay que estimar su influencia en el número de grados efectivos de libertad.

Otras fuentes de incertidumbre que se evalúan con este método son la reproducibilidad y las obtenidas al hacer una regresión lineal.


6.3.2 Evaluación Tipo B

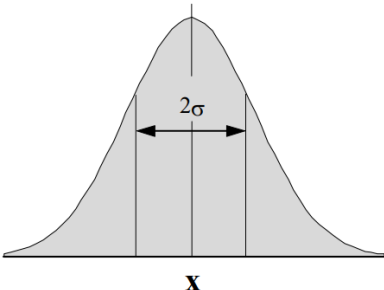
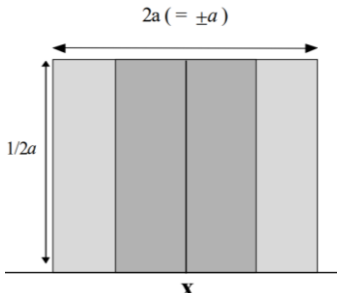
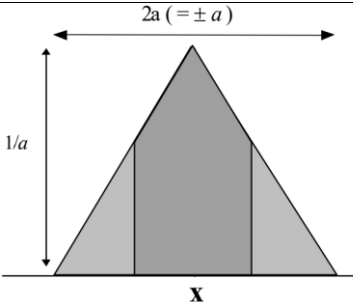
Las fuentes de incertidumbre *Tipo B* son cuantificadas usando información externa u obtenida por experiencia. Según la fuente de la que se obtiene esa incertidumbre tipo B, ésta se estimará de distinta manera. Estas fuentes de información pueden ser:

- Certificados de calibración
- Manuales del instrumento de medición, especificaciones del instrumento
- Normas o literatura
- Valores de mediciones anteriores
- Conocimientos sobre las características o el comportamiento del sistema de medición.

6.3.3 Distribuciones de Probabilidad

La cuantificación de una fuente de incertidumbre incluye la asignación de un valor y la determinación de la distribución a la cual se refiere este valor. Pero antes de comparar y combinar distribuciones de la incertidumbre que tienen distribuciones diferentes, es necesario representar los valores de las incertidumbres originales como incertidumbre estándar. Para ello se determina la desviación estándar de la distribución asignada a cada fuente. Para diligenciar la información correspondiente a la distribución de probabilidad de la fuente de incertidumbre se debe especificar si es *Tipo A* o *Tipo B*, cuál es su distribución y el factor de cobertura K si es necesario. Las distribuciones más frecuentes son mostradas en la siguiente tabla:


	MEDICIÓN Y ANALISIS AMBIENTAL	CODIGO: MA-P-003
		VERSION: 3
		FECHA: 18-10-2019
	PROCEDIMIENTO ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	Página 7 de 14

Tipo	Forma	Usar cuando	Expresión de Incertidumbre
Distribución normal		<ul style="list-style-type: none"> - Se ha hecho una estimación a partir de observaciones repetidas de un proceso de variación aleatoria. - Se ha dado una incertidumbre en forma de una desviación estándar s, desviación estándar relativa s/\bar{x}, o un porcentaje de coeficiente de variación %CV sin especificar la distribución. - Se ha dado una incertidumbre en forma de intervalo de confianza de un 95% (u otro) $x \pm c$ sin especificar la distribución. 	<ul style="list-style-type: none"> - $u(x) = s$ - $u(x) = s$ - $u(x) = x * \frac{s}{\bar{x}}$ - $u(x) = x * \frac{\%CV}{100}$ - $u(x) = \frac{c}{2}$ para c al 95% - $u(x) = \frac{c}{3}$ para c al 99,7%
Distribución Rectangular		<ul style="list-style-type: none"> - Un certificado o alguna otra especificación da unos límites sin especificar el nivel de confianza (por ejemplo, 25 mL \pm 0,05 mL, o resolución de un instrumento digital). - Se ha hecho una estimación en forma de un rango máximo ($\pm a$) sin conocimiento de la forma de la distribución. 	<ul style="list-style-type: none"> - $u(x) = \frac{a}{\sqrt{3}}$
Distribución Triangular		<ul style="list-style-type: none"> - La información disponible referida a x está más delimitada que en una distribución rectangular. Los valores cercanos a x son más probables que los próximos a los límites. - Se ha hecho una estimación en forma de un rango máximo ($\pm a$) descrito por una distribución simétrica. 	<ul style="list-style-type: none"> - $u(x) = \frac{a}{\sqrt{6}}$

6.4 CALCULAR LA INCERTIDUMBRE COMBINADA

La información obtenida en el numeral anterior consiste en un número de contribuciones cuantificadas a la incertidumbre total, ya sea asociada con fuentes individuales o con el efecto combinado de varias fuentes. Después de estimar los componentes individuales o los grupos de componentes de la incertidumbre y de expresarlos como incertidumbres estándar, el siguiente paso es calcular la incertidumbre estándar combinada. El factor apropiado de cubrimiento K debe ser aplicado para dar una incertidumbre expandida. El resultado de la combinación de las contribuciones de todas las fuentes es la incertidumbre estándar combinada $u_c(y)$, la cual contiene toda la información esencial sobre la incertidumbre del mensurando Y .

La contribución $u_i(y)$ de cada fuente a la incertidumbre combinada depende de la incertidumbre estándar $u(x_i)$ de la propia fuente y del impacto de la fuente sobre el mensurando. Es posible encontrar que una pequeña variación de alguna de las magnitudes de influencia tenga un impacto importante en el

	MEDICIÓN Y ANALISIS AMBIENTAL	CODIGO: MA-P-003
		VERSION: 3
		FECHA: 18-10-2019
	PROCEDIMIENTO ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	Página 8 de 14

mensurando y viceversa. Se determina $u_c(y)$ por el producto de $u(x_i)$ y su coeficiente de sensibilidad o factor de sensibilidad c_i .

$$u_c(y) = c_i * u(x_i)$$

El coeficiente de sensibilidad describe, qué tan sensible es el mesurando con respecto a variaciones de la magnitud de entrada correspondiente. Existen dos métodos para la determinación del coeficiente de sensibilidad:

- A partir de una relación funcional: Si el modelo matemático para el mesurando describe la influencia de la magnitud de entrada X_i suficientemente bien mediante una relación funcional, el c_i se calcula por la derivada parcial de f con respecto a X_i , siendo f cada una de las variables del modelo matemático.
- Otros métodos: Si la influencia de la magnitud de entrada X_i en el mesurando Y no está representada por una relación funcional, se determina el coeficiente de sensibilidad c_i por una estimación del impacto de una variación de X_i en Y según:

$$c_i = \frac{\Delta Y}{\Delta X_i}$$

Esta información puede ser obtenida de gráficas o tablas.

6.5 CALCULAR LA PROPAGACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE PARA MAGNITUDES DE ENTRADA NO CORRELACIONADAS

En el caso de magnitudes de entrada no correlacionadas, la incertidumbre combinada $u_c(y)$ se calcula por la suma geométrica de las contribuciones particulares:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N u_i^2$$

Ley de propagación de la incertidumbre


$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i * u(x_i)]^2}$$

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} * u(x_i) \right]^2}$$

6.6 CALCULAR LA INCERTIDUMBRE EXPANDIDA

La incertidumbre combinada estándar u_c representa un intervalo centrado en el mejor estimado del mesurando que contiene el valor verdadero con una probabilidad del 68% aproximadamente, bajo la suposición de que los posibles valores del mesurando siguen una distribución normal. Generalmente se desea una probabilidad mayor, lo que se obtiene expandiendo el intervalo de incertidumbre por un factor, llamado factor de cobertura. El resultado se llama incertidumbre expandida U .

$$U = k * u_c$$

	MEDICIÓN Y ANALISIS AMBIENTAL	CODIGO: MA-P-003
		VERSION: 3
		FECHA: 18-10-2019
	PROCEDIMIENTO ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	Página 9 de 14

La incertidumbre expandida U indica entonces un intervalo que representa una fracción p de los valores que puede probablemente tomar el mesurando. El valor de p es llamado el nivel de confianza y puede ser elegido a conveniencia.

En una distribución normal, $k = 1$ corresponde a $p = 68,27\%$, $k = 2$ a $p = 95,45\%$. En una distribución rectangular $p = 57,7\%$ si $k = 1$.

6.7 EXPRESAR LA INCERTIDUMBRE

En el Laboratorio Ambiental de CORPOGUAJIRA la política es expresar los resultados de las mediciones con un nivel de confianza no menor al 95%. La expresión de la incertidumbre expandida U incluye su indicación como un intervalo centrado en el mejor estimado del mesurando, la afirmación de que p es del 95% aproximadamente y el número efectivo de grados de libertad, cuando sea requerido. La manera de expresar el resultado de la medición es:

$$Y = y \pm U$$

El número de cifras significativas en la expresión de la incertidumbre es generalmente uno, o dos cuando la exactitud es alta. Además debe asegurarse que el número de cifras significativas del valor del mesurando sea consistente con el de la incertidumbre. El valor de incertidumbre siempre debe acompañarse por las unidades del mesurando.

6.8 EJEMPLOS DE CÁLCULOS DE INCERTIDUMBRE EN OPERACIONES DE LABORATORIO

A continuación se presentan ejemplos de estimación de la incertidumbre, aplicado a operaciones realizadas regularmente en el Laboratorio Ambiental de CORPOGUAJIRA.

6.8.1 Preparación de Soluciones

6.8.1.1 Pesada del Reactivo

6.8.1.1.1 Incertidumbre estándar en la pesada

Calibración de la balanza: Esta contribución se obtiene a partir de la incertidumbre μ del certificado de calibración entregado por el proveedor del servicio. Se divide por 1,96 si se establece que el proveedor realiza los cálculos de incertidumbre con un nivel de confianza del 95% con una distribución normal, en caso contrario se asigna 0,5 mg como valor típico.


$$\mu_1 = \frac{\mu}{1,96}$$

Verificación de la balanza: Se establece esta contribución a través de la desviación estándar de un grupo de diez mediciones como mínimo realizadas con una pesa (Puede ser certificada u otro material estable mantenido en el desecador). Otra opción para obtener la desviación, es utilizar la reportada en el momento de la calibración de la balanza.

$$\mu_2 = s$$

6.8.1.1.2 Incertidumbre combinada en la pesada U_c

La incertidumbre combinada de la pesada corresponde a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de μ_1 y μ_2 .

	MEDICIÓN Y ANALISIS AMBIENTAL	CODIGO: MA-P-003
		VERSION: 3
		FECHA: 18-10-2019
	PROCEDIMIENTO ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	Página 10 de 14

$$U_c = \sqrt{\mu_1^2 + \mu_2^2}$$

6.8.1.1.3 Incertidumbre estándar relativa (IER) para el Peso

Con el valor nominal del peso, calculamos la IER, la que corresponde a la relación entre la incertidumbre combinada y el peso, así:

$$IER_1 = \frac{U_c}{Peso}$$

6.8.1.2 Pureza del Reactivo

Este tipo de contribución se obtiene a partir de la información de pureza indicada en la etiqueta del reactivo ($X \pm \mu$) o en los certificados correspondientes.

6.8.1.2.1 Incertidumbre Estándar de la Pureza del Reactivo

$$\mu_3 = \frac{\mu}{\sqrt{3}}$$

Cuando no se especifica el intervalo de confianza ni la forma o simetría de la distribución, se asume una distribución rectangular y la incertidumbre dada por el fabricante deber ser dividida entre $\sqrt{3}$.

6.8.1.2.2 Incertidumbre Combinada para la Pureza U_c

Esta es igual a la incertidumbre estándar porque no hay sino un componente para evaluar, entonces:

$$U_c = \mu_3$$

6.8.1.2.3 Incertidumbre Estándar Relativa (IER) para la Pureza

El valor de su pureza y su incertidumbre normalmente vienen expresados en porcentaje, por lo tanto se deben dividir entre 100 antes de calcular la incertidumbre estándar. Con el valor nominal de la pureza, calculamos la IER, la que corresponde a la relación entre la incertidumbre combinada y la pureza, así:

$$IER_2 = \frac{U_c}{Pureza}$$

6.8.1.3 Peso Fórmula del Reactivo


Esta incertidumbre es obtenida a partir de la incertidumbre μ de los pesos atómicos de cada uno de los elementos (reportados por la IUPAC) involucrados en la fórmula del reactivo.

Incertidumbre estándar del elemento en la formula $A_m B_n C_o$.

$$\mu_4 = \frac{\mu(A)}{\sqrt{3}} * m$$

$$\mu_5 = \frac{\mu(B)}{\sqrt{3}} * n$$

$$\mu_6 = \frac{\mu(C)}{\sqrt{3}} * o$$

	MEDICIÓN Y ANALISIS AMBIENTAL	CODIGO: MA-P-003
		VERSION: 3
		FECHA: 18-10-2019
	PROCEDIMIENTO ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	Página 11 de 14

6.8.1.3.1 Incertidumbre Combinada en el Peso Fórmula U_c

La incertidumbre combinada corresponde a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de μ_4 a μ_6 .

$$U_c = \sqrt{\mu_4^2 + \mu_5^2 + \mu_6^2}$$

6.8.1.3.2 Incertidumbre Estándar Relativa (IER) para el Peso Fórmula

Con el valor nominal, calculamos la IER, la que corresponde a la relación entre la incertidumbre combinada y el peso fórmula, así:

$$IER_3 = \frac{U_c}{\text{Peso fórmula}}$$

6.8.1.4 Dilución del Reactivo

6.8.1.4.1 Incertidumbre Estándar de la Dilución del Reactivo

Esta incertidumbre es obtenida a partir de la incertidumbre μ del material volumétrico utilizado para aforar la solución.

$$\mu_7 = \frac{\mu}{\sqrt{6}}$$

Cuando no se especifica el intervalo de confianza ni la forma o simetría de la distribución, se asume una distribución triangular (debido a que en un proceso productivo eficaz, el valor nominal es más probable que los extremos; por lo tanto, la distribución resultante está mejor representada por una distribución triangular que por una rectangular) y la incertidumbre dada por el fabricante deber ser dividida entre $\sqrt{6}$.

6.8.1.4.2 Incertidumbre Estándar de la Diferencia de Temperatura de Calibración del Material Volumétrico del Aforo

Esta incertidumbre es obtenida a partir de la diferencia de la temperatura media del laboratorio, durante la ejecución del ensayo, y la temperatura de calibración del material volumétrico, entregada por el fabricante, por el coeficiente de expansión de volumen para el agua $2,1 * 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ y el volumen del material volumétrico utilizado para la medición de la muestra (x).

$$\mu_8 = \frac{x * \Delta T * (2,1 * 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})}{\sqrt{3}}$$

La incertidumbre estándar se calcula utilizando la hipótesis de una distribución rectangular para la variación de la temperatura.


6.8.1.4.3 Incertidumbre Estándar de la Verificación del Material Volumétrico.

Esta contribución se obtiene a partir de la desviación estándar (s) calculada a partir de la verificación del volumen (4 mediciones como mínimo y 10 recomendadas) del material volumétrico usado para medir la muestra.

$$\mu_9 = s$$

6.8.1.4.4 Incertidumbre Combinada de la Dilución del Reactivo U_c

La incertidumbre combinada corresponde a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de μ_7 a μ_9 .

	MEDICIÓN Y ANALISIS AMBIENTAL	CODIGO: MA-P-003
		VERSION: 3
	PROCEDIMIENTO ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	FECHA: 18-10-2019
		Página 12 de 14

$$U_c = \sqrt{\mu_7^2 + \mu_8^2 + \mu_9^2}$$

6.8.1.4.5 Incertidumbre Estándar Relativa (IER) para la Dilución del Reactivo.

Con el valor nominal, calculamos la IER, la que corresponde a la relación entre la incertidumbre combinada y el volumen, así:

$$IER_4 = \frac{U_c}{Volumen\ balón}$$

6.8.2 Medición del Volumen de Reactivo

6.8.2.1 Incertidumbre Estándar de la Pipeta para la Toma de Alícuota (Estándar, Muestra o Blanco)

Esta incertidumbre se obtiene del valor μ indicado en el material volumétrico o en el certificado respectivo (debe ser suministrado por el proveedor).

$$\mu_{10} = \frac{\mu}{\sqrt{6}}$$

Se asume una distribución triangular a menos que el fabricante indique otro tipo de distribución (nivel de confianza) diferente.

6.8.2.2 Incertidumbre Estándar de la Diferencia de Temperatura de Calibración del Material Volumétrico de la Alícuota.

Esta incertidumbre es obtenida a partir de la diferencia de la temperatura media del laboratorio, durante la ejecución del ensayo, y la temperatura de calibración del material volumétrico, entregada por el fabricante, por el coeficiente de expansión de volumen para el agua $2,1 * 10^{-4} C^{-1}$ y el volumen del material volumétrico utilizado para la medición de la muestra (x).

$$\mu_{11} = \frac{x * \Delta T * (2,1 * 10^{-4} C^{-1})}{\sqrt{3}}$$

6.8.2.3 Incertidumbre Estándar de la Verificación del Material Volumétrico.

Esta contribución se obtiene a partir de la desviación estándar (s) calculada a partir de la verificación del volumen (4 mediciones como mínimo y 10 recomendadas) del material volumétrico usado para medir la muestra.

$$\mu_{12} = s$$

6.8.2.4 Incertidumbre Combinada de la Dilución del Reactivo U_c


La incertidumbre combinada corresponde a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de μ_{10} a μ_{12} .

$$U_c = \sqrt{\mu_{10}^2 + \mu_{11}^2 + \mu_{12}^2}$$

6.8.2.5 Incertidumbre Estándar Relativa (IER) para la Medición de la Alícuota.

Con el valor del volumen del balón, calculamos la IER (Incertidumbre estándar relativa), la que corresponde a la relación entre la incertidumbre combinada y el volumen, así:

$$IER_5 = \frac{U_c}{Volumen\ pipeta}$$

	MEDICIÓN Y ANALISIS AMBIENTAL	CODIGO: MA-P-003
		VERSION: 3
		FECHA: 18-10-2019
	PROCEDIMIENTO ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	Página 13 de 14

6.8.3 Lectura del Equipo

6.8.3.1 Incertidumbre Estándar de la Lectura del Equipo.

La incertidumbre de la lectura en el equipo, aparece reportada en los manuales de los equipos, para cada una de las lecturas, volumen, absorbancia, turbiedad, en el caso que no se encuentre reportada, se toma como guía la desviación estándar de los patrones en el rango adecuado.

$$\mu_{13} = \frac{\mu}{\sqrt{3}}$$

6.8.3.2 Incertidumbre Estándar Relativa (IER) de la Lectura del Equipo.

Con el valor de concentración, calculamos la IER (Incertidumbre estándar relativa), la que corresponde a la relación entre la incertidumbre estándar de la lectura del equipo y la concentración promedio, así:

$$IER_6 = \frac{\mu_{13}}{\text{Concentración}}$$

6.8.4 Cálculo de la Incertidumbre Total

6.8.4.1 Incertidumbre Combinada Total

Calculamos la incertidumbre combinada total sumando las IER elevados al cuadrado y aplicando la raíz:


$$U_{CT} = \sqrt{IER_1^2 + IER_2^2 + IER_3^2 + IER_4^2 + IER_5^2 + IER_6^2}$$

6.8.4.2 Incertidumbre Expandida Total

De acuerdo a la definición obtenemos:

$$U = 2 * U_{CT} * X$$

Donde X es el valor de la concentración del patrón o muestra calculada y 2 es el factor k de acuerdo al intervalo de confianza del 95%.

	MEDICIÓN Y ANALISIS AMBIENTAL	CODIGO: MA-P-003
		VERSION: 3
		FECHA: 18-10-2019
	PROCEDIMIENTO ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	Página 14 de 14

CONTROL DE CAMBIOS

VERSIÓN	FECHA	DESCRPCIÓN DEL CAMBIO
1	10 de Enero de 2014	Cambio en el formato del procedimiento e inclusión de las definiciones
2	08 de Julio de 2015	Inclusión de los responsables del procedimientos, documentos de referencia, cambio de codificación y control de documentos
3	18 de Octubre de 2019	Organización de las definiciones en orden alfabético, corrección de la palabra mesurado por mensurando, según definición del VIM, Ajuste del procedimiento (pasos 1 y 2) en redacción, Inclusión de las formulas con editor de fórmulas de WORD, inclusión de tabla de distribución de probabilidad según tipo, forma, donde usar y formula de expresión de incertidumbre, Revisión por cumplimiento de plazo de vigencia e inclusión de Profesional Especializado grado 12 entre los responsables.

APROBACIÓN DEL DOCUMENTO		
Acción	Funcionario	Firma
Actualizado por:	Jaiker Gómez Sierra Profesional Especializado Grado 19 Laboratorio Ambiental	
Revisado por:	Samuel Lanao Robles Sudbirector Gestión Ambiental	
Aprobado por:	Yerlis Caraballo Roble Representante de la Dirección	