

## **LA ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE: COMO UN MÉTODO APROPIADO Y ECONÓMICO PARA VALORAR LOS RESULTADOS DE LAS MEDICIONES.**

**Autores:** Daimy Díaz Mena\*, Roberto Casanova Casanova\*, Mirta López Berta\*  
Giselle Rodríguez Castro\*, Migdalia Gómez Jiménez\*.

\*Centro de investigaciones Apícolas.

### **Resumen.**

Se hace obligatorio reportar, con indicación cuantitativa de la calidad, los resultados de las mediciones de las magnitudes físicas; de manera que el cliente pueda apreciar la confiabilidad de los ensayos. Sin esta indicación, las expresiones de las mediciones no pueden ser comparadas, entre ellas ni con valores de referencia dados en una especificación o norma. Por lo tanto, es necesario que exista un procedimiento rápido, fácil de usar y aceptado de manera general para caracterizar la calidad del resultado de una medición, lo que se traduce en el cálculo de la estimación de la incertidumbre.

Dentro de los requisitos de la NC ISO/IEC 17025:2006 esta la estimación de la incertidumbre de la medición como evidencia del desempeño del método y alcance de la medición.

La Subdirección de Gestión de Calidad elaboró una "Guía para la Expresión de la Incertidumbre de las Mediciones", correspondiéndole a esta un procedimiento para la Determinación de la Incertidumbre de los Resultados de la Medición de los Ensayos en los Laboratorios del Centro de Investigaciones Apícolas. Esto permite cumplir con lo establecido en el Capítulo 5, epígrafe 5.4.6 de la NC/ISO 17 025 y garantiza reconocer, a través de las desviaciones encontradas, factores que impliquen gastos de recursos.

## Introducción.

Cuando se reporte el resultado de una medición de una magnitud física es obligatorio proporcionar alguna indicación cuantitativa de la calidad del resultado, de manera tal que el usuario pueda apreciar su confiabilidad. Sin esta indicación, los resultados de las mediciones no pueden ser comparados, ni entre ellas mismas ni con respecto a valores de referencia dados en una especificación o norma. Por lo tanto, es necesario que exista un procedimiento rápido, fácil de usar y aceptado de manera general para caracterizar la calidad del resultado de una medición, esto es, para evaluar y expresar su *incertidumbre*. (1)

El concepto de *incertidumbre* como un atributo cuantificable es relativamente nuevo en la historia de las mediciones, a pesar de que los conceptos de *error* y *análisis de error* han sido parte de la práctica de la ciencia de la medición por largo tiempo. Actualmente se acepta de manera general que cuando todas las componentes, conocidas o supuestas, del error han sido evaluadas y se han aplicado las correcciones, aún persiste una incertidumbre acerca de la confiabilidad del resultado expresado, esto es, persiste una duda acerca de qué tan bien representa el resultado de la medida al valor de la cantidad que está siendo medida.(2)

De la misma manera que el uso casi universal del Sistema Internacional de Unidades (SI) ha propiciado la coherencia a todas las mediciones científicas y tecnológicas, un consenso mundial acerca de la evaluación y la expresión de la incertidumbre en las mediciones permitiría dar significado a una gran variedad de resultados de medición en la ciencia, ingeniería, comercio, industria y reglamentación, haciéndolas entendibles de manera inmediata y posibilitando que sean propiamente interpretadas. En esta era del mercado mundial, es imperativo que el método para evaluar y expresar a las incertidumbres se uniforme en todo el mundo, de tal manera que las mediciones realizadas en diferentes países puedan ser fácilmente comparadas.(3)

El método ideal para evaluar y expresar la incertidumbre del resultado de una medición debe ser: (4)

- *universal*: el método debe ser aplicable a cualquier tipo de medición y a cualquier tipo de dato utilizados en las mediciones.

La cantidad utilizada para expresar la incertidumbre debe ser:

- *internamente consistente*: debe por obtenerse directamente a partir de los componentes que contribuyen a ella, asimismo, debe ser independiente de la forma en que dichas componentes son agrupadas y del método en que éstas se descomponen en subcomponentes.

- *transferible*: debe ser posible utilizar directamente la incertidumbre evaluada para un resultado, como una componente al evaluar la incertidumbre de otra medida en la cual es utilizado el primer resultado.

Adicionalmente, en muchas aplicaciones industriales y comerciales, así como en las áreas de salud y seguridad, frecuentemente es necesario proporcionar un intervalo, centrado en el resultado de la medición, que contenga una fracción considerable de la distribución de valores que pueden ser razonablemente atribuidos a la cantidad que se está midiendo. Por tanto, el método ideal para evaluar y expresar la incertidumbre en la medición debe ser capaz de proporcionar, directamente, tal tipo de intervalo, en particular, uno con una probabilidad de cobertura o nivel de confianza que corresponda de forma realista con lo requerido.

En 1978, al reconocerse la falta de consenso alrededor de la expresión de incertidumbres en las mediciones, la más alta autoridad en metrología en el mundo, el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) sugirió al Buró Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) que abordara el problema junto con los laboratorios nacionales y que hiciera una recomendación.

El BIPM preparó un cuestionario detallado el cual cubría los temas involucrados y lo hizo llegar a 32 laboratorios nacionales de metrología interesados en el tema (y, para información, a cinco organizaciones internacionales). A principios de 1979 se recibieron las respuestas de 21 laboratorios [1]. Casi todos estaban de acuerdo en que era importante contar con un procedimiento aceptado internacionalmente para expresar las incertidumbres en mediciones y para combinar los componentes individuales de la incertidumbre en una incertidumbre total. Empero, no se alcanzó un consenso acerca del método que debía ser utilizado. El BIPM convocó, entonces, a una reunión con el propósito de diseñar un procedimiento uniforme y mayoritariamente aceptable para la especificación de las incertidumbres, al cual asistieron expertos de 11 laboratorios nacionales. Este Grupo de Trabajo para la Expresión de Incertidumbres generó la Recomendación INC-1 (1980), Expresión de Incertidumbres Experimentales [2]. El CIPM aprobó dicha recomendación en 1981 [3] y la reafirmó en 1986 [4].

La tarea de desarrollar una guía detallada basada en la Recomendación del Grupo de Trabajo, fue delegada por el CIPM en la Organización Internacional para la Normalización (ISO), puesto que la ISO está más al tanto de las necesidades que surgen del amplio espectro de intereses de la industria y el comercio.

La responsabilidad fue asignada al Grupo Asesor Técnico en Metrología (TAG 4) dado que una de sus tareas es coordinar el desarrollo de guías en tópicos de la medición que son de interés común, tanto para ISO, como para las seis organizaciones que

colaboran con ISO en el trabajo del TAG 4. Dichas organizaciones son: la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), el organismo que, al igual que la ISO, se dedica a la normalización a nivel mundial; el CIPM y la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), las dos organizaciones de metrología a nivel mundial; la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) y la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada (IUPAP), las dos uniones internacionales que representan a las comunidades química y física, respectivamente; y la Federación Internacional de Química Clínica (IFCC).

En la práctica, existen muchas fuentes posibles de incertidumbre en una medición, incluyendo:

- a) definición incompleta del mensurando;
- b) realización imperfecta de la definición del mensurando;
- c) muestreos no representativos -la muestra medida puede no representar el mensurando definido;
- d) conocimiento inadecuado de los efectos de las condiciones ambientales sobre las mediciones, o mediciones imperfectas de dichas condiciones ambientales;
- e) errores de apreciación del operador en la lectura de instrumentos analógicos;
- f) resolución finita del instrumento o umbral de discriminación finito;
- g) valores inexactos de patrones de medición y materiales de referencia;
- h) valores inexactos de constantes y otros parámetros obtenidos de fuentes externas y usados en los algoritmos de reducción de datos;
- i) aproximaciones y suposiciones incorporadas en los métodos y procedimiento de medición;
- j) variaciones en observaciones repetidas del mensurando bajo condiciones aparentemente iguales.

Estas fuentes no son necesariamente independientes, y algunas de las fuentes desde a) hasta i) pueden contribuir a la fuente j). Por supuesto, un efecto sistemático no reconocido no puede ser tomado en cuenta en la evaluación de la incertidumbre del resultado de una medición pero contribuye a su error.

La Organización Nacional para la Acreditación en Cuba, a través de la NC ISO/IEC 17025:2006, establece la siguiente política de incertidumbre:

1. Los laboratorios acreditados y solicitantes de la acreditación deben establecer procedimientos para estimar la incertidumbre mediante cálculos. Para ello debe realizarse la estimación de la incertidumbre de la medición a partir de enfoques fundamentados en principios reconocidos.

2. Los procedimientos para estimar la incertidumbre deben basarse en guías y documentos normativos emitidos por instituciones internacionales reconocidas, o en artículos científicos de revistas arbitradas que poseen un elevado reconocimiento internacional, siempre que tengan en consideración el alcance establecido en cada uno de ellos. La aplicación de otros documentos deben ser sometidos a la consideración del ONARC.
3. Las incertidumbres deben estar avaladas matemáticamente y ser representadas como incertidumbres expandidas. Esta información debe estar disponible y ser lo suficientemente clara para los usuarios.
4. Los procedimientos que utilice cada laboratorio para el cálculo de sus incertidumbres deben ser demostrados de acuerdo a las condiciones técnicas requeridas para el trabajo en cuestión.

Los **laboratorios de ensayo** deben:

- ✓ Estimar la incertidumbre de los resultados provenientes de los métodos de medición que empleen, aplicando los procedimientos establecidos y los siguientes criterios:
  - Cuando sea posible evaluar cada uno de los componentes de la incertidumbre que estén involucrados
  - Para un método reconocido que especifique los límites a los valores de las mayores fuentes de incertidumbre y las formas de obtener y expresar los resultados, la incertidumbre debe ser la establecida por el método.
- ✓ Mantener evidencias documentadas de las incertidumbres informadas junto con los resultados, así como de los métodos de cálculo de las incertidumbres relativas a los diferentes métodos de ensayo. Las mismas deben demostrar la validez de los cálculos y de las incertidumbres informadas junto a los resultados

Este trabajo se propuso elaborar una Guía para el cálculo de la incertidumbre de las mediciones; y en consecuencia el Procedimiento Normalizativo de Operación (PNO) para el establecimiento de la incertidumbre de las mediciones, para los ensayos que describen la especificaciones de calidad para la miel de abejas en Cuba.

## **Materiales y Métodos.**

La metodología utilizada en este trabajo fue la descrita en la Recomendación INC-1 (1980) [2] del Grupo de Trabajo para la Expresión de Incertidumbres, que fue habilitado por el BIPM en respuesta a una petición del CIPM. La Recomendación INC-1 (1980) fue aprobada y ratificada por el CIPM en sus propias Recomendaciones 1 (CIPM-1981) [3] y 1 (CIPM-1982) [4]; la traducción al español de tales Recomendaciones del CIPM se reproducen en el anexo A (véase A.2 y A.3, respectivamente). (5)

## **Resultados y Discusión.**

### Expresión de las incertidumbres experimentales.

La incertidumbre en el resultado de una medición consta, generalmente, de varias componentes que pueden ser agrupadas en dos categorías, dependiendo de la manera en que se estime su valor numérico:

- A. aquellas que se evalúan por métodos estadísticos.
- B. aquellas que se evalúan por otros métodos.

No siempre existe una correspondencia simple entre las categorías A y B y la clasificación en incertidumbres “aleatorias” y “sistemáticas”, que se usaba anteriormente. El término “incertidumbre sistemática” puede ser confuso y debe ser evitado.

Cualquier informe detallado de la incertidumbre debe constar de una lista completa de las componentes, especificando en cada caso el método usado para la obtención de su valor numérico.

Los componentes en la categoría A se caracterizan mediante las varianzas estimadas  $s_i^2$  (o las “desviaciones estándar” estimadas  $s_i$ ) y el número de grados de libertad  $\nu_i$ . En caso de ser necesario, debe darse el valor de las covarianzas.

Los componentes en la categoría B deben ser caracterizados mediante las cantidades  $u_j^2$ , las cuales pueden ser consideradas como aproximaciones a las varianzas correspondientes, cuya existencia se supone. Las cantidades  $u_j^2$  pueden ser tratadas como varianzas y las cantidades  $u_j$  como desviaciones estándar. En caso de ser necesario, las covarianzas deben ser tratadas de la misma manera.



La incertidumbre combinada debe ser caracterizada mediante el valor numérico que se obtiene al aplicar el método numérico que se obtiene al aplicar el método usual para la combinación de varianzas. La incertidumbre combinada y sus componentes deben expresarse en la forma de “desviaciones estándar”.

Si en una aplicación particular es necesario que se multiplique la incertidumbre combinada por un factor con la finalidad de obtener una incertidumbre total, el factor multiplicativo debe especificarse siempre.

#### Alcance de la Guía elaborada:

1.1 Establecer reglas generales para la evaluación y la expresión de incertidumbres en la medición, las cuales pueden seguirse a diferentes niveles de exactitud y en todos los campos. Por tanto, se pretende que los principios de esta *Guía* sean aplicables a una amplia gama de mediciones que se efectúan en nuestro centro, no solo a los laboratorios de análisis incluyendo aquellas requeridas para:

- mantener el control de la calidad y el aseguramiento de la calidad en la producción;
- cumplir con leyes y reglamentos obligatorios;
- conducir investigación básica, e investigación y diseños aplicados en ciencia e ingeniería;
- calibración de patrones e instrumentos y realización de pruebas a través de un sistema nacional de mediciones con la finalidad de lograr la trazabilidad a patrones nacionales;
- desarrollar, mantener, y comparar los patrones de referencia físicos nacionales e internacionales, incluyendo los materiales de referencia.

1.2 Esta *Guía* trata, principalmente, de la expresión de incertidumbres en la medición de una magnitud física bien definida (el mensurando) que puede ser caracterizada por un valor esencialmente único. Si el fenómeno de interés puede ser representado únicamente como una distribución de valores dependientes de uno o más parámetros, como el tiempo, entonces, para la descripción de los mensurandos, se requiere de un conjunto de cantidades que describan tal distribución o dependencia.

1.3 Se aplica, también, para la evaluación y la expresión de incertidumbres asociadas con el diseño conceptual y el análisis teórico de experimentos, métodos de medición, y componentes y sistemas complejos. Dado que el resultado de una medición y su incertidumbre pueden ser conceptuales y basados enteramente en datos hipotéticos, en esta Guía, al término "resultado de una medición" se le otorgará el significado más amplio.

1.4 Proporciona reglas generales para evaluar y expresar la incertidumbre en la medición, más que instrucciones técnicas detalladas y específicas. En ella no se discute cómo la incertidumbre del resultado de una medición particular, una vez evaluada, puede ser utilizada para diferentes propósitos, por ejemplo, para deducir conclusiones acerca de la compatibilidad de ese resultado particular con algunos otros similares, para establecer los límites de tolerancia en un proceso de manufactura, o para decidir si un cierto curso de acción puede ser seguido sin riesgos. Puede ser, por tanto, necesario desarrollar normas particulares, basadas en esta *Guía*, para enfrentar los problemas peculiares de los campos específicos de medición o para tratar los varios usos de las expresiones cuantitativas de la incertidumbre.

En general, conforme se avanza en la jerarquía de las mediciones, se requieren más detalles acerca de dicha jerarquía, incluyendo las actividades comerciales y reglamentarias en el mercado, trabajos de ingeniería en la industria, instalaciones de calibraciones no primarias, investigación y desarrollo industrial, investigación académica, laboratorios de calibración y patrones primarios industriales, los laboratorios primarios nacionales y el BIPM, debería estar disponible toda la información necesaria para la reevaluación de la medición para quienes pudieran necesitarla. La diferencia primordial es que en los niveles más bajos de la cadena jerárquica, la mayor parte de la información puede estar disponible en informes publicados de calibración y prueba del sistema, especificaciones de prueba, certificados de prueba y calibración, manuales de instrucciones, normas internacionales y nacionales, y reglamentos locales.

Cuando se proporcionan los detalles de la medición, incluyendo el método para la evaluación de la incertidumbre, haciendo referencia a documentos publicados, como es frecuente en casos cuando los resultados de la calibración se declaran en un certificado, es imperativo que estas publicaciones se mantengan actualizadas de manera que sean consistentes con los procedimientos de medición que realmente están utilizándose.

En la industria y el comercio cada día se hacen numerosas mediciones sin un informe explícito de la incertidumbre. Sin embargo, muchas se efectúan con instrumentos sujetos a calibraciones periódicas o a inspecciones legales. Si se sabe que los instrumentos se trabajan en conformidad a sus especificaciones o a los documentos normativos existentes que puedan aplicarse a ellos, las incertidumbres de sus indicaciones pueden inferirse a partir de esas especificaciones o de esos documentos normativos.

Aunque en la práctica la cantidad de información necesaria para documentar el resultado de una medición depende del uso pretendido, el principio básico de lo que se



requiere permanece sin cambio: cuando se informa el resultado de una medición y su incertidumbre, es preferible equivocarse suministrando demasiada información en lugar de suministrarla incompleta. Por ejemplo, se puede:

- a) describir claramente los métodos utilizados para calcular el resultado de la medición y su incertidumbre a partir de las observaciones experimentales y los argumentos utilizados;
- b) hacer listas de todos los componentes de la incertidumbre y documentar totalmente sobre como fueron evaluadas;
- c) presentar los análisis de datos en una manera tal que cada uno de sus pasos importantes puedan ser seguidos de manera sencilla y el cálculo del resultado informado pueda ser repetido de manera independiente, en caso de ser necesario;
- d) proporcionar todas las correcciones y las constantes utilizadas en el análisis, así como las fuentes de cada una de ellas

Una prueba de la lista que antecede es preguntar "¿se ha proporcionado suficiente información, de una manera suficientemente clara, de tal manera que el resultado pueda ser actualizado en el futuro en caso de que se tenga disponible nueva información?"

Cuando se informa el resultado de una medición y cuando la medida de la incertidumbre es la incertidumbre estándar combinada  $u_c(y)$ , se debe:

- a) dar una descripción completa de como se define el mensurando  $Y$ ;
- b) dar el valor estimado  $y$  del mensurando  $Y$  y su incertidumbre estándar combinada  $u_c(y)$ ; dando siempre las unidades tanto de  $y$  como de  $u_c(y)$ ;
- c) incluir la incertidumbre estándar combinada relativa  $u_c(y)/y$ ,  $y \neq 0$  cuando sea apropiado.

Al informar los resultados finales, puede ser algunas veces apropiado redondear incertidumbres al dígito superior en lugar de al dígito más cercano. Por ejemplo,  $u_c(y) = 10,47 \text{ m}\Omega$  puede ser redondeado hasta  $11 \text{ m}\Omega$ . Sin embargo, el sentido común deberá prevalecer y un valor como  $u(x_i) = 28,05 \text{ kHz}$  debe ser redondeado a  $28 \text{ kHz}$ . Las estimaciones de los argumentos y el mensurando deben ser redondeados para ser consistentes con sus incertidumbres; por ejemplo, si  $y = 10,057 \text{ 62 } \Omega$  con  $u_c(y) = 27$

m $\Omega$ , y debe ser redondeada a 10,058  $\Omega$ . Los coeficientes de correlación deberían ser dados con una exactitud de tres dígitos si sus valores absolutos son cercanos a la unidad.

En el informe detallado que describe cómo fueron obtenidos el resultado de una medición y su incertidumbre debe aparecer:

- a) el valor para cada estimación de argumentos  $x_i$  y su incertidumbre estándar  $u(x_i)$ ; dar, además, una descripción de como fueron obtenidas;
- b) las covarianzas estimadas o coeficientes de correlación estimados (preferentemente ambos) asociados con todas las estimaciones de los argumentos que están correlacionados y los métodos utilizados para obtenerlos;
- c) los grados de libertad para la incertidumbre estándar de cada estimación de argumentos y el método utilizado para obtenerlo;
- d) la relación funcional  $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$  y, cuando se considere útil, las derivadas parciales o coeficientes de sensibilidad  $\partial f / \partial x_i$ .

#### Resumen del procedimiento para la evaluación y expresión de la incertidumbre:

Los pasos a seguir para evaluar y expresar la incertidumbre de los resultados de una medición como se presentan en la *Guía* se pueden resumir como sigue:

1. Expresar matemáticamente la relación entre el mensurando  $Y$  y los argumentos  $X_i$  de los cuales depende  $Y$ :  $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$ . La función  $f$  deberá contener cualquier magnitud incluyendo todas las correcciones y factores de corrección que puedan contribuir como una componente significativa de incertidumbre al resultado de la medición (ver 4.1.1 y 4.1.2).
2. Determinar  $x_i$ , el valor estimado del argumento  $X_i$ , ya sea sobre la base del análisis estadístico de una serie de observaciones o por otro método (ver 4.1.3).
3. Evaluar la *incertidumbre estándar*  $u(x_i)$  de cada estimación  $x$ . Para la estimación de un argumento obtenida a partir del análisis estadístico de una serie de observaciones, la incertidumbre estándar se evalúa como se describió en 4.2 (*evaluación de incertidumbres estándar Tipo A*). Para el caso de una estimación obtenida por otros métodos, la incertidumbre estándar  $u(x_i)$  se evalúa como se describe en 4.3 (*evaluación de incertidumbres estándar Tipo B*).

4. Evaluar las covarianzas asociadas con cualesquiera estimaciones de los argumentos que estén correlacionadas (ver 5.2).
5. Calcular el resultado de la medición, esto es, la estimación  $y$  del mensurando  $Y$ , a partir de la relación funcional  $f$  usando, para los argumentos  $X_i$ , las estimaciones  $x_i$  obtenidas en el paso 2 (ver 4.1.4).
6. Determinar la *incertidumbre estándar combinada*  $u_c(y)$  del resultado de la medición  $y$  a partir de las incertidumbres estándar  $u(x_i)$  y las covarianzas asociadas con las estimaciones  $x_i$ , como se describe en el capítulo 5. Si la medición determina simultáneamente más de un resultado, calcule sus covarianzas (ver 7.2.5, H.2, H.3 y H.4).
7. Si es necesario declarar una *incertidumbre expandida*  $U$  cuyo propósito sea establecer un intervalo de  $y - U$  a  $y + U$  que pueda esperarse abarque una fracción grande de la distribución de los valores que razonablemente puedan ser atribuidos al mensurando  $Y$ , multiplíquese a la incertidumbre estándar combinada  $u_c(y)$  por un *factor de cobertura*  $k$ , típicamente en el intervalo de 2 a 3, para obtener  $U = k u_c(y)$ . Seleccione  $k$  sobre la base del nivel de confianza requerido para el intervalo (ver 6.2, 6.3 y especialmente el anexo G, en donde se discute la selección de un valor de  $k$  que produce un intervalo que tiene un nivel de confianza próximo a un valor especificado).
8. Informar del resultado de la medición  $y$  junto con su incertidumbre estándar combinada  $u_c(y)$  o su incertidumbre expandida  $U$  como se discutió en 7.2.1 y 7.2.3; utilizar alguno de los formatos recomendados en 7.2.2 y 7.2.4. Describese, como también se señala en la capítulo 7, cómo se obtuvieron  $y$  y  $u_c(y)$  o  $U$ .

En la Guía elaborada aparecen Conceptos, Reglamentaciones y Terminologías generales y específicas relacionados con los temas básicos de Metrología e Incertidumbre de las mediciones.

Para la estimación de la incertidumbre en nuestros laboratorios se utiliza el método EURACHEM y los cálculos a través de Microsoft Excel.

Este método posee una serie de ventajas y desventajas en relación a otros como son:

#### Ventajas:

- 1) La labor para determinar incertidumbre combinada puede emplearse posteriormente para mejoras.
- 2) Estimula el conocimiento de métodos y operaciones.
- 3) Mejorable por estudio más completo.
- 4) Más completo.

- 5) Se realiza por el laboratorio.
- 6) Puede usar datos externos.

Desventajas:

- 1) Trabajoso.
- 2) Puede no incluir todas las fuentes de incertidumbre.
- 3) Estimación con elementos subjetivos.
- 4) Ciertos factores son difíciles de estimar.
- 5) Puede estimar mal la incertidumbre.
- 6) Puede no incluir la incertidumbre del muestreo.

El método clásico de determinación de la incertidumbre consta de los siguientes pasos:

- 1) Medición.
- 2) Diagrama causa/efecto.
- 3) Incertidumbre de las fuentes de entrada.
- 4) Determinación del coeficiente de sensibilidad.
- 5) Componentes de incertidumbre.
- 6) Incertidumbre combinada.
- 7) Grados de libertad.
- 8) Factor de cobertura.
- 9) Incertidumbre expandida.
- 10) Resultados de la medición.

Regulaciones que fueron utilizadas:

- Decreto Ley No. 183. Disposiciones Generales de la Metrología.
- Decreto Ley No. 270. Reglamentos del Decreto Ley de la Metrología.
- Decreto Ley No. 271. Contravenciones de las regulaciones establecidas sobre Metrología.
- Decreto Ley No. 62. Sobre la implantación del Sistema Internacional de Unidades.
- DG 01. Instrumentos de medición sujetos a la verificación obligatoria.
- OIML D3. Calificación legal de los instrumentos de medición.
- OIML D9. Supervisión Metrológica.
- OIML D12. Campos de aplicación de los instrumentos de medición sujetos a verificación.
- OIML D16. Principios del aseguramiento del Control Metrológico.

### **Conclusiones.**

- ❖ El resultado de una medición depende del instrumento, del ambiente, de los procedimientos usados, de la habilidad del operador y de la reducción de los datos, (procedimientos de redondeo, algoritmos). y de otros elementos.
- ❖ Los procedimientos para estimar la incertidumbre deben basarse en guías y documentos normativos emitidos por instituciones internacionales reconocidas, o en artículos científicos de revistas arbitradas que poseen un elevado reconocimiento internacional, siempre que tengan en consideración el alcance establecido en cada uno de ellos. La aplicación de otros documentos deben ser sometidos a la consideración del ONARC.
- ❖ Se elaboró la Guía para la expresión de la incertidumbre en las mediciones.
- ❖ Se confeccionó el PNO Determinación de la incertidumbre de los Resultados de los análisis.

## Bibliografía.

- Allan, D. W. (1987), IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-36, 646-654.
- Analytical Method Committee, Analyst, 120, 2303-2308 (1995).
- Barker, T. B. (1985), Quality by experimental design, Marcel Dekker (New York, N. Y.).
- Box, G. E. P., Hunter, W. G., and Hunter, J. S. (1978), Statistics for experimenters, John Wiley (New York, N. Y.)
- Dietrich, C. F. (1991), Uncertainty, calibration and probability, segunda edición, Adam-Higler (Bristol)
- EA-4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, 1999. European co-operation for Accreditation,
- Enfoque del Comité Nórdico de Análisis de Alimentos (NMKL). Procedimiento N° 5, versión 2, 2003: Estimación y Expresión de la Incertidumbre de la Medición en Análisis Químico. [www.nmkl.org](http://www.nmkl.org).
- Fairfield-Smith, H. (1936), J. Counc. Sci. Indust. Res (Australia) 9(3), 211
- Fuller, W. A. (1987), Measurements error models, John Wiley (New York, N.Y.).
- Guía EURACHEM para cuantificar la incertidumbre en mediciones analíticas "Eurachem/CITAC, Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement", Segunda Edición, 2000. [www.eurachem.ul.pt/](http://www.eurachem.ul.pt/)
- Guía ISO 35:1989, Certification of reference materials - General and statistical principles, segunda edición, International Organization for Standardization (Ginebra, Suiza).
- Guía ISO para la expresión de la incertidumbre de la medición.. "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", ISO, Geneva, 1995 (ISBN 92-67-10188-9). [www.iso.org](http://www.iso.org)
- ILAC G-17:2002 Introducing the Concept of Uncertainty of Measurement in Testing in Association with the Application of the Standard ISO/IEC 17025. International Laboratory Accreditation Cooperation,
- ILAC-G8 Guidelines on Assessment and Reporting of Compliance with Specification ISO 10012. Sistemas de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición
- ISO 31-0:1992 Quantities and units - Part 0:General principles ( Annex B)
- ISO 3534-1:1993, Statistics - Vocabulary and symbols - Part 1: Probability and general statistical terms, International Organization for Standardization (Ginebra, Suiza).
- ISO 5725:1994 "Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results" (partes 1 a 6).
- ISO TS 21748 – Guía para el uso de estimados de la repetibilidad, la reproducibilidad y la veracidad en la estimación de la incertidumbre de la medición. "Guidance for the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty estimation" [www.iso.org](http://www.iso.org)



- Jefreys, H. (1983), Theory of probability, tercera edición, Oxford University Press (Oxford)
- M3003 DE UKAS. The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement. Edición 2. Enero 2007. [www.ukas.com](http://www.ukas.com) metrología".
- Müller, J. W.(1979), Nucl. Instrum. Meth. 163, 241-251
- Müller, J. W.(1984), in Precision measurement and fundamental constants, Taylor II, B. N., y Phillips, W. D. eds., Natl. Bur. Stand. (U.S.) Spec. Publ. 617. US GPO (Washington D. C.), 375-381.
- NC-ISO 3534-1, Statistics - Vocabulary and symbols - Part I: Probability and General Statistical Terms, first edition, 1993, International Organization for Standardization (Geneva, Switzerland).
- NC-ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración (traducción certificada).
- NC-OIML V 2 "Vocabulario internacional de términos generales y básicos de Norma Cubana OIML D 16. 1998. Principios del aseguramiento del control metrológico.
- Norma ISO 10012. 2003. Sistema de gestión de las mediciones.
- ONARC. Política de Incertidumbre de las mediciones. Diciembre 2007 Página 5 de 9
- Press, S. J. (1989), Bayesian Statistics: principles, models and applications, John Wiley (New York, N.Y.)
- Regulación 16. 2000 de Buenas Prácticas de Producción.
- Satterthwaite, F. E. (1941), Psychometrika 6, 309-316; (1946) Biometrics Bul!. 2(6), 110-114.
- Welch, B. L. (1936), J. R. Stat. Soc. Suppl. 3, 29-48; (1938), Biometrika 29, 350-362; (1947), ibid. 34, 28-35.