

# TRAZABILIDAD EN LAS MEDICIONES DE MASA

M. Talavera, F. Pezet  
Centro Nacional de Metrología  
km 4,5 Carretera a los Cués, Municipio El Marqués, Qro., México C.P. 76241  
Tel.: (442) 2 11 05 00 Ext. 3524, fax: (442) 2 16 26 26,  
Correo electrónico: [mtalaver@cenam.mx](mailto:mtalaver@cenam.mx); [fpezet@cenam.mx](mailto:fpezet@cenam.mx);

**Resumen:** La trazabilidad es un elemento fundamental para unificar un sistema de medición. La calidad de los productos y/o servicios se incrementa dependiendo de la confiabilidad de las mediciones, y la importancia de las mismas se refleja de acuerdo a la relevancia de los patrones utilizados por el requerimiento de que deben ser “trazables” a patrones nacionales o internacionales. El objetivo de esta publicación es dar una idea clara de los principios de trazabilidad en las mediciones de masa y como puede ser alcanzada.

## INTRODUCCIÓN

La trazabilidad es una propiedad o característica indispensable en cada una de las mediciones de masa realizadas. Se define como: “La propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón, cualquiera que pueda estar relacionado con referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas incertidumbres declaradas” [1].

Los patrones de masa que pertenecen a los laboratorios de la industria y al comercio requieren completar la cadena de trazabilidad expresando la incertidumbre de sus mediciones con relación a los patrones de masa de los laboratorios de calibración acreditados en el país, estos a su vez deben ser trazables a un patrón nacional y finalmente, este es trazable al kilogramo prototipo internacional que se encuentra en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM), mostrando así trazabilidad a las unidades del Sistema Internacional (SI).

La trazabilidad se convierte en un requisito técnico legal y de confiabilidad de resultados, su importancia radica en el control de sistemas de calidad de la medición. La norma ISO/IEC 17025 emitida por la Organización Internacional para la Normalización, indica los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de calibración y prueba. En la sección 5.6 de esta guía se indica: “Para laboratorios de calibración, se debe diseñar y operar un programa de calibración y/o verificación y validación de equipo para asegurar que, las mediciones y calibraciones realizadas por el laboratorio sean trazables a las unidades de medida del SI. La trazabilidad de las mediciones será

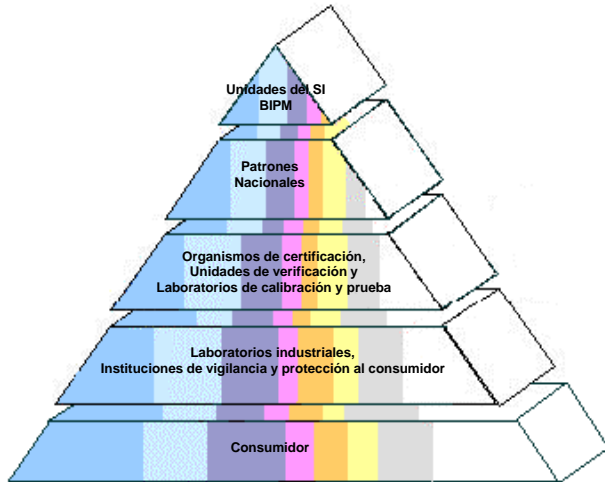
asegurada por el uso de servicios de calibración de laboratorios que demuestren trazabilidad y competencia. Los certificados e informes de calibración emitidos por laboratorios deben indicar la trazabilidad a patrones nacionales y estos a las unidades del SI por una cadena ininterrumpida de comparaciones, además deben contener los resultados de la medición que incluya la incertidumbre asociada con la misma y/o una declaración de la conformidad con una especificación metrológica identificada [2]”.

Frecuentemente se usa una pirámide para ilustrar la trazabilidad. El ápice de la pirámide en la figura 1 muestra que la cadena de trazabilidad inicia con las unidades del SI mantenidas por el BIPM; enseguida, la cadena se extiende a los patrones nacionales, a los patrones de referencia y de trabajo que se resguardan, custodian y mantienen por el Instituto Nacional de Metrología de cada país; en el siguiente nivel se encuentran los organismos de certificación, las unidades de verificación y los laboratorios de calibración y prueba, que tienen una capacidad técnica y que en algunos casos, cuentan con un acreditamiento o credibilidad reconocida por algún organismo y/o institución oficial; finalmente, la cadena termina con los laboratorios industriales, las instituciones de vigilancia y de protección al consumidor y el propio consumidor.

## ELEMENTOS DE TRAZABILIDAD

La trazabilidad es requerida para asegurar que la calidad de los resultados de las mediciones, expresada por su incertidumbre asociada, se

conozca en términos de la confiabilidad que poseen los patrones nacionales o internacionales de medición referidos como el origen de la trazabilidad para tales mediciones.



**Fig. 1** Pirámide de trazabilidad

La trazabilidad se caracteriza por los siguientes elementos:

- a) Cadena ininterrumpida de comparaciones: La cadena comienza con los patrones de medición nacionales o internacionales que en la mayoría de los casos realizan las unidades del SI, posteriormente pasan por los patrones de medición de los laboratorios de calibración acreditados hasta llegar a un patrón de medición aceptable.
- b) Incertidumbre de la medición: La incertidumbre se estima y se declara para cada paso de la cadena de trazabilidad de acuerdo a métodos establecidos, de tal manera que la incertidumbre para toda la cadena pueda ser evaluada. Esta incertidumbre debe estar respaldada matemáticamente y se representa como incertidumbre estándar combinada empleando un nivel de confianza apropiado y un factor de cobertura correspondiente.
- c) Documentación: cada paso en la cadena de trazabilidad se debe realizar y documentar de acuerdo a procedimientos generalmente reconocidos. Los resultados deben ser registrados en un certificado, dictamen o informe de calibración.
- d) Competencia: cada laboratorio en donde se realiza uno o más pasos de la cadena de

trazabilidad debe proveer evidencia de su competencia técnica mediante su credibilidad reconocida o acreditamiento vigente.

- e) Referencia a las unidades del SI: La cadena de comparaciones debe terminar en patrones primarios (nacionales o internacionales) para la realización de las unidades del SI.
- f) Recalibraciones: Para mantener la trazabilidad de las mediciones, los patrones deben ser calibrados en intervalos de tiempo apropiados asegurando que sus cualidades o características metrológicas no cambien durante ese periodo de tiempo. Estos intervalos de tiempo dependen del número de variables, de la incertidumbre requerida, de la frecuencia de uso, de la estabilidad del equipo, etc.

## CADENA DE TRAZABILIDAD

### Nivel Internacional

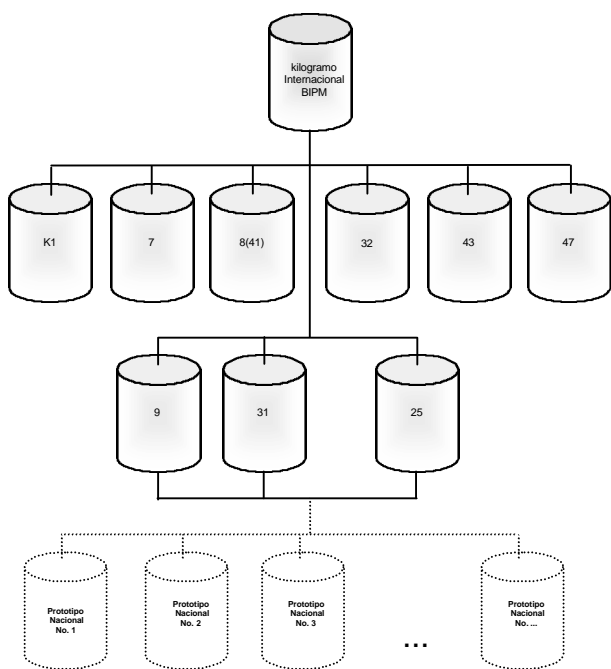
El kilogramo (kg), es una de 7 unidades base del SI y se define como [3,4]: “El kilogramo es igual a la masa del kilogramo prototipo internacional” <sup>1ª</sup> y <sup>3ª</sup> Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) 1889, 1901. El kilogramo prototipo internacional es un cilindro de 39 mm de altura e igual diámetro, fabricado de una aleación de 90% de platino y 10% de iridio, con una densidad de aproximadamente 21 500 kg/m<sup>3</sup>. Para la unidad de masa, la definición y la realización son idénticas debido a que la definición esta referida a un objeto material.

La definición y materialización de la unidad de masa, el kilogramo, es realizada con el prototipo internacional y sus seis copias oficiales en el BIPM. Debido a que los prototipos se dañan cada vez que son usados, desde 1889 el prototipo internacional solamente ha sido usado tres veces, en 1939, 1946 y 1988-92 [5]. La unidad es diseminada de acuerdo a una estructura jerárquica de los patrones de masa, encontrándose en el primer eslabón el kilogramo internacional, seguido por sus seis patrones de referencia: K1, 7, 8(41), 32, 43 y 47 y continuando con sus patrones de trabajo: 9, 25 y 31.

Desde la Convención del Metro celebrada en 1875 hasta la fecha, se han realizado 3 verificaciones periódicas a los prototipos nacionales. La <sup>1ª</sup>

verificación se realiza de 1899 a 1911 y los resultados se informan hasta 1913 en la 5ª CGPM, el 2º periodo de verificación inicia en 1939 y termina en 1953 presentándose los resultados en la 10ª CGPM en 1954, el tercer periodo de verificación es de 1988 a 1992 y en este mismo año se informan los resultados en la 20ª CGPM.

En la 3ª verificación (1988-1992), se usaron los patrones de trabajo 9 y 31 para determinar el valor de masa de los prototipos nacionales, diseminando la unidad a todos los miembros de la Convención del Metro [5], figura 2.



**Fig. 2** Representación y diseminación de la unidad de masa en el BIPM

Los instrumentos para pesar utilizados en este tipo de comparaciones generalmente tiene una desviación estándar  $\sigma \leq 1 \mu\text{g}$  y son usados como balanzas primarias. Un ejemplo, es la conocida balanza NBS-2 que se encuentra en el BIPM. La incertidumbre estándar combinada  $u_c$  ( $k=1$ ) del valor de masa que se declaró en la 3ª verificación para todos los prototipos nacionales fue de  $2,3 \mu\text{g}$ ; debido principalmente a la inestabilidad de los prototipos mas que al proceso de pesada. En las tablas I y II se muestran los esquemas de comparación usados durante la 3ª verificación realizada en el BIPM.

kilogramo prototipo internacional $\mathfrak{K}$	Patrones de referencia y de trabajo (6 r y 4 t)	Patrones de referencia y de trabajo (3 r y 2 t)	Algunos prototipos nacionales
+	-		
+		-	
+			-

Patrones de referencia 8 (41) y 32	Prototipos nacionales			
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
+	-			
+		-		
+			-	
+				-

Durante esta verificación, el kilogramo internacional solamente se utilizo tres veces, para la comparación de los patrones de referencia y de trabajo del BIPM y solamente para la comparación de algunos prototipos nacionales, entre ellos el kilogramo prototipo No. 21. Todos los patrones nacionales fueron divididos en cuatro grupos y ellos fueron enlazados con los patrones de referencia 8 (41) y 32 mediante los patrones 9 y 31 determinando el valor de su masa y su incertidumbre de medición.

En el nivel internacional, las decisiones concernientes al Sistema Internacional de Unidades y a la realización de los patrones primarios son tomadas por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM). El BIPM es el responsable de coordinar el desarrollo y el mantenimiento de los patrones primarios y de organizar comparaciones internacionales de alto nivel. Su tarea fundamental es asegurar uniformidad internacional de las mediciones y la trazabilidad al SI.

### Institutos Nacionales de Metrología Patrones nacionales

En nuestro país, el Centro Nacional de Metrología, CENAM, se encarga de mantener el prototipo nacional, kilogramo N° 21, transfiriendo y diseminando la unidad de masa a patrones de referencia y de trabajo de acero inoxidable.

La comparación de los patrones de referencia con el prototipo nacional es técnicamente el paso mas complicado que se realiza en un laboratorio de metrología primario, debido a que la transición es

realiza de una densidad de 21,5 g/cm<sup>3</sup> (Pt-Ir) a otra de 8,0 g/cm<sup>3</sup> (acero inoxidable). La corrección por empuje del aire, es en este caso, aproximadamente de 75 mg. Por consiguiente, la incertidumbre debida al empuje del aire es la de mayor impacto con respecto a las demás incertidumbres de influencia.

La diseminación del kilogramo prototipo nacional a los patrones de referencia y de trabajo de acero inoxidable es importante por la realización y representación de múltiplos y submúltiplos de la unidad de masa. La escala de masa es realizada con la ayuda de un esquema de pesada adecuado, el cual es en términos matemáticos un sistema sobredeterminado de ecuaciones de pesada. Este esquema describe las comparaciones de masa realizadas con las combinaciones de ciertos patrones, en donde los valores de masa de las pesas desconocidas se determina por una técnica de ajuste de Mínimos Cuadrados. El análisis de Mínimos Cuadrados también proporciona la matriz de varianza-covarianza de los valores de masa calculados, la incertidumbre estándar de estos (varianza) y las covarianzas para las combinaciones de pesada [6].

La combinación de patrones de masa es seleccionada de acuerdo a los factores 1x10<sup>n</sup>, 2x10<sup>n</sup> y 5x10<sup>n</sup>, en donde n puede ser cualquier número positivo, negativo o cero. Por lo menos 4 patrones son necesarios para cada década. Por ejemplo, para la década de 100 g a 1 kg se puede utilizar la división 1, 2, 2, 5, con los valores nominales de los patrones de 100 g, 200 g, 200 g y 500 g. En la tabla III se muestra un esquema de pesada simple con 5 patrones desconocidos y 10 comparaciones por cada década para la subdivisión 1, 1, 2, 2, y 5. En este esquema solamente se conoce el valor de masa y la incertidumbre de medición de un kilogramo (patrón de trabajo) y de esta manera se genera la escala nacional de masa, que para el CENAM es de 1 mg hasta 1 tonelada (figura 3).

Tabla III						
Década de 100 g a 1 kg						
Comparaciones	1 kg	500 g	200 g	200 g	100 g	100 g
1	+	-	-	-	-	-
2	+	-	-	-	-	-
3		+	-	-	-	-
4		+	-	-	-	-
5			+	-	+	-
6			+	-	-	+
7			+	-	-	-
8			+	-	-	-
9				+	-	-
10					+	-

Las comparaciones de los patrones de referencia y de trabajo con el prototipo nacional se realizan en un comparador de masa cuya desviación estándar es de 1 µg y la incertidumbre estándar combinada (k=1) declarada para los patrones de referencia es de 16 µg y 20 µg para los patrones de trabajo. Los resultados de estas comparaciones se documentan en certificados de calibración.

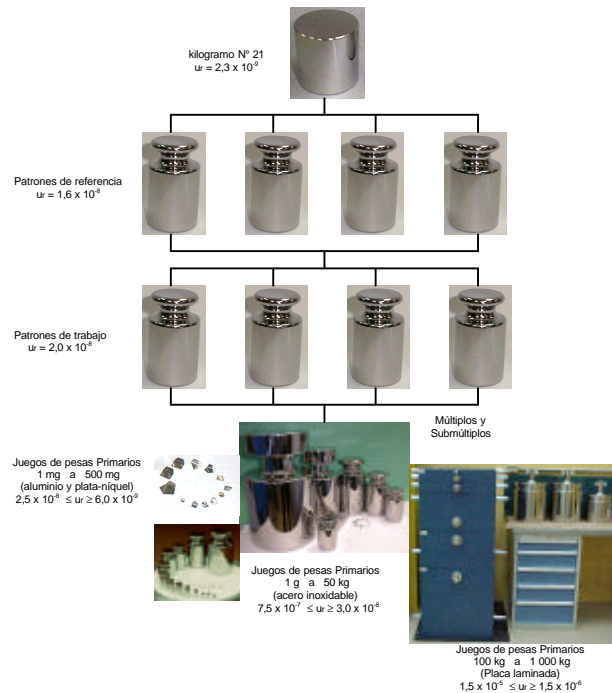


Fig. 3 Trazabilidad en el CENAM

La tarea fundamental del CENAM es asegurar que los patrones nacionales sean comparados internacionalmente, su responsabilidad es mantener y diseminar la unidad de medida, que apoyado en los laboratorios de calibración acreditados llega hasta los usuarios, científicos, autoridades publicas, laboratorios, industrias, etc.

Los patrones de masa pertenecientes a los Institutos Nacionales de Metrología tienen el mayor nivel jerárquico en la cadena de trazabilidad de un país.

### Laboratorios de Calibración Acreditados

En el siguiente nivel de la pirámide se encuentra los organismos de certificación, las unidades de verificación y los laboratorios de calibración y prueba acreditados en el país. En muchos países existen entidades u organismos de acreditación

para las unidades de verificación y los laboratorios de calibración y prueba. Estos organismos acreditan laboratorios de calibración bajo criterios bien establecidos. Generalmente se emplea el criterio de la guía ISO/IEC 17025 o equivalente. La acreditación se otorga a aquellos laboratorios que cuentan con una capacidad técnica y que cumplen con todos los requisitos para ofrecer un servicio confiable a las mediciones específicas y con incertidumbres aceptables.

Los laboratorios de calibración y prueba que se pretenden acreditar deben presentar el manual de calidad y todos los documentos del sistema de la calidad que han implantado, los cuales son inspeccionados y verificados rigurosamente por los organismos acreditadores. En este conjunto de documentos están incluidos los procedimientos de calibración y, la información sobre la trazabilidad de las mediciones, para lo cual los laboratorios presentan los informes o certificados de calibración de sus patrones de referencia otorgados por otros laboratorios del mismo sistema y que en consecuencia tienen trazabilidad al patrón nacional y/o los certificados de calibración expedidos por el Centro Nacional de Metrología, así como la evidencia, en caso necesario, de establecer su propia cadena de trazabilidad interna mediante calibraciones sucesivas hacia sus patrones de trabajo e instrumentos de medición.

Estos laboratorios generalmente comparan a intervalos apropiados los patrones de trabajo de la industria con patrones de referencia que han sido calibrados por Institutos Nacionales de Metrología. Tienen el mayor nivel jerárquico en la cadena de trazabilidad para la industria de un país y su tarea es salvaguardar la infraestructura metrológica de una nación.

Es obligación de los clientes de estos laboratorios de calibración, asegurarse que la incertidumbre de medición proporcionada por ellos sea apropiada y consistente para el uso del instrumento calibrado. Estos laboratorios deben documentar e informar los resultados de las calibraciones mediante un informe de calibración y/o medición.

### **Laboratorios industriales, Institutos de vigilancia y de protección al consumidor**

En el último peldaño de la pirámide de trazabilidad se encuentran los laboratorios de las industrias y comercios, los Institutos de vigilancia y protección al consumidor hasta llegar a los usuarios o el propio

consumidor. La responsabilidad de estos laboratorios es tratar en lo posible de mejorar la calidad de un producto y/o servicio en vista de la necesidad de mantener y fortalecer su posición económica en el mercado regional, nacional y en algunos casos, hasta internacional. Además tienen la tarea de supervisar los equipos de medición y de prueba para sus propios propósitos como parte del sistema de calidad.

Cuando un laboratorio de calibración acreditado emite un informe de calibración a terceros, (empresas industriales, comerciales o de servicios), este informe por sí solo, es el documento que demuestra la existencia de la trazabilidad de las mediciones puesto que resulta de la continuación del proceso de comprobación de enlaces hacia los patrones nacionales.

Es importante que los organismos de certificación tomen las medidas necesarias con las empresas que tratan de implantar un sistema de calidad presentando informes de calibración de laboratorios no acreditados porque en este caso, existe duda de su trazabilidad y en consecuencia hay que buscar su evidencia rastreando los certificados o informes de calibración hasta encontrar, si es que existe, aquel que presente el enlace adecuado a los patrones nacionales, cosa que no sucedería si el laboratorio que calibra esta acreditado.

### **Intercomparaciones**

Los resultados de las mediciones de un patrón o instrumento de medida declarados en un certificado o informe de calibración de un laboratorio, están siempre vinculados con los patrones nacionales de medida mantenidos por el Instituto Nacional de Metrología, los cuales son representativos de las unidades físicas de medida del SI y son homologados con los patrones nacionales de otros países y con los internacionales, si los hubiera, mediante los programas de comparación internacional o interlaboratorio que cada laboratorio establece como parte de su aseguramiento metrológico en el campo internacional y, en la incesante inquietud de compartir la uniformización universal de las medidas.

El CENAM ha participado en tres comparaciones internacionales, en 1997 en la comparación de patrones de un kilogramo de acero inoxidable, en 1998 en la comparación de múltiplos y submúltiplos del kilogramo y en 2001 en la comparación de

múltiplos del kilogramo. Los resultados obtenidos en estas comparaciones nos han brindado la oportunidad de conocer la calidad de nuestras mediciones, en términos de la confiabilidad que posee nuestro patrón nacional con respecto al kilogramo prototipo internacional, así también hemos tenido la oportunidad de homologar nuestros resultados con los resultados de otras naciones, obteniendo reconocimiento mutuo y/o credibilidad.

### CONSECUENCIAS DE LA TRAZABILIDAD

La intención aquí, es destacar las consecuencias y beneficios de la trazabilidad cuando se realiza y explora en términos del impacto sobre las diversas necesidades del usuario o consumidor. Por lo tanto, la trazabilidad debe concebirse como un sistema en el cual se transfieren las unidades del SI desde el punto de la definición hasta el usuario y es una componente de un sistema de medición consistente en donde se le presta la atención adecuada a los procedimientos de calibración, intervalos de medición, controles ambientales, registros, patrones de medición y muchos otros factores.

La trazabilidad y la incertidumbre están estrechamente ligadas al proceso y equipo de medición, lo cual indica que si no se estima la incertidumbre de la medición no se puede evaluar al mensurando y por consiguiente la cadena de trazabilidad se rompe. La incertidumbre en la medición crece mientras más larga es la cadena de trazabilidad.

Es importante destacar que los certificados e informes de calibración son documentos que avalan la trazabilidad. Cualquier persona relacionada en este campo de la metrología puede usar la información contenida en los certificados e informes de calibración para mejorar la exactitud de las mediciones en una manera particular.

### CONCLUSIONES

Uno de los propósitos para establecer la trazabilidad en las mediciones de masa en una nación, es asegurar que los resultados de las mismas, al final de la cadena de trazabilidad, sean confiables y que su incertidumbre estándar sea declarada apropiadamente, con la finalidad de mejorar la calidad de un producto y/o servicio. La trazabilidad puede ser documentada por medio de un esquema o una carta de trazabilidad.

La incesante tarea que se tiene al establecer la trazabilidad en la medición es la de proporcionar mayor uniformidad universal en las medidas.

### REFERENCIAS

- [1] International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology, second edition, International Organization for Standardization (ISO), 1993, pp. 47
- [2] ISO/IEC 17025, General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories, International Organization for Standardization (ISO), 1999, pp. 21.
- [3] Richard S. Davis, The kilogram: Past, Present and Future, NCSL Workshop & Symposium, 1996, pp. 81-87.
- [4] Terry J. Quinn, The kilogram: The Present State of Our Knowledge, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 40, No. 2, 1991, pp. 81-85.
- [5] M. Kochsiek, M. Gläser, Comprehensive Mass Metrology, Wiley-Vch Berlin 2000.
- [6] R. Schwartz, Guide to mass determination with high accuracy, PTB-Bericht MA-40, Braunschweig, April 1995, pp. 52-68.
- [7] C. D. Ehrlich and S. D. Rasberry, "Metrological Timelines in Traceability," Metrología, vol. 34, No. 6, 1997, pp. 503-514.
- [8] A. R. Robertson, P. L. M. Heydemann, I. A. Castelazo, "International Report: North American Metrology Cooperation (NORAMET)", Metrología, vol. 34, No. 2, 1997, pp. 195-196.
- [9] Ernest L. Garner and Stanley D. Rasberry, "What's New in Traceability", American Society for Testing and Materials, 1993, pp. 505-509.
- [10] Dr. S. Nielsen "What Is Traceability and Why Do We Calibrate?", <http://www.hn-metrology.com/traceabl.htm>, 06/07/01.
- [11] Lazos - Martínez Rubén J. "ISO 9001:2000, Trazabilidad e Incertidumbre", Simposio de Metrología, Centro Nacional de Metrología, México, 2001.