



LA INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN COMO HERRAMIENTA PARA EVALUAR LA CALIDAD DE LAS MEDICIONES

Edgar Marino Pretel Otero
Instructor CDT ASTIN

INTRODUCCIÓN

En la evaluación de las características de un producto se emplean sistemas de medición de cuya confiabilidad depende la calidad del producto. La incertidumbre asociada a un resultado de medición es una medida de la confiabilidad del sistema de medición y, por tanto, debe servir para documentar la calidad del producto.

Cuando se reporta el resultado de la medida de una cantidad física, es obligatorio brindar alguna indicación cuantitativa de la **Calidad** del resultado reportado, de tal forma que el usuario de este resultado pueda darse cuenta de su confiabilidad.

Sin esta indicación, los resultados de las medidas no pueden ser comparados contra datos del mismo tipo o valores de referencia dados en una especificación o por un patrón.

Por esto, es necesario que se implemente un procedimiento para la caracterización del resultado de una medida que sea aceptado ampliamente y sea fácil de interpretar, o sea, un procedimiento para evaluar y presentar la incertidumbre del resultado de una medida.

Para expresar el resultado de una medición además de determinar los errores y/o correcciones, es necesario conocer la incertidumbre de la medición. No obstante, por la naturaleza misma de la determinación de los errores y también de la incertidumbre de la medición, el resultado de la medición es determinado siempre por cierto grado de exactitud, pero nunca se conocerá el valor exacto verdadero del mensurando.

El concepto de incertidumbre como atributo calculable cuantitativamente es relativamente nuevo en la historia de la medición, sin embargo, error y análisis de error, han formado parte de la ciencia de la medición o Metrología durante mucho tiempo.

Hoy día se reconoce ampliamente que cuando se han aplicado todas las correcciones por todos los errores conocidos o sospechados aún nos queda una duda o incertidumbre sobre el resultado presentado, o sea, una duda acerca de qué tan bien representa el resultado de la medida el valor de la cantidad medida.

Podemos citar también una aclaración que se hace cada vez que se elabora un documento para el cálculo del error en la medición y la determinación de

su respectiva incertidumbre "Este documento provee un marco de trabajo para estimar la incertidumbre de una medición, y no puede esperarse que sustituya el **pensamiento crítico, la honestidad intelectual y la habilidad profesional** de quien realiza el cálculo. La evaluación de una incertidumbre nunca es una tarea rutinaria o puramente matemática; ella depende de un conocimiento detallado de la naturaleza del mensurando y la medición. La calidad y utilidad de la incertidumbre expresada por el resultado de la medida depende, por tanto, en últimas del **entendimiento, el análisis crítico y la integridad** de aquellos que contribuyeron a asignarle su valor.

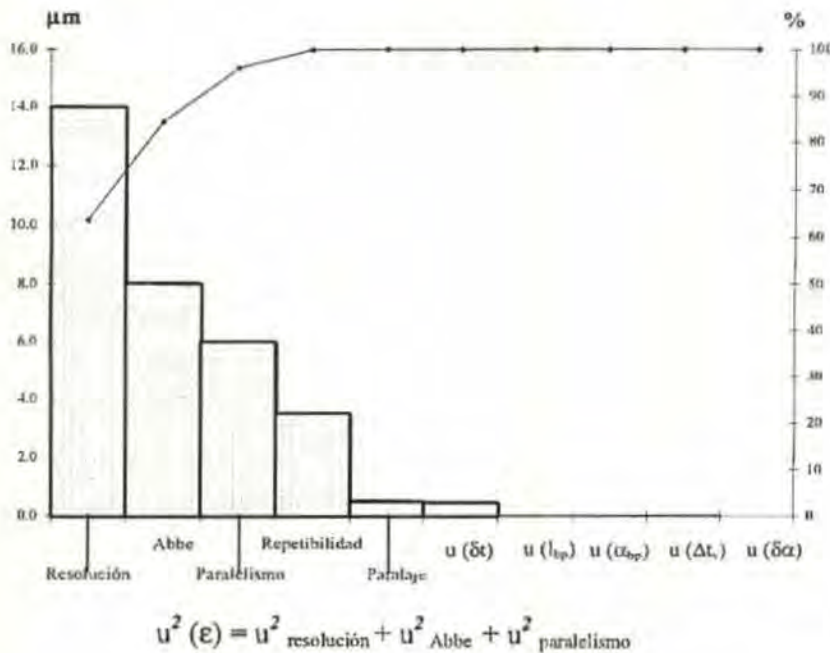
La incertidumbre de medición tiene dos interpretaciones:

⊙ **Cualitativa:**

En este contexto, expresa la existencia de una **duda** sobre la determinación verdadera del resultado de dicha medición.

⊙ **Cuantitativa:**

Representada por las **magnitudes (valores)** que suministran información numérica sobre la duda. Esa evaluación se puede



realizar a través de la aplicación de ciertos criterios estadísticos, tales como la desviación estándar, un intervalo de confianza u otra estimación valorativa que caracterice la dispersión de los valores medios.

Referencia Normativa:

Un término como la incertidumbre ha sido de difícil transmisión e interpretación en el campo estadístico y metrológico. En efecto, se han realizado diversas actualizaciones con respecto al texto oficial de las mismas normas.

En la norma internacional ISO 3534-1 "Estadística. Vocabulario y Símbolos. Parte 1. Términos de Estadística y Probabilidades". Edición de 1993, se menciona el término de incertidumbre, el cual fue a su vez transcrito en el documento EAL-R2 "Expresión de la Incertidumbre de la Medición en la Calibración" y es el mismo que aparece en el Vocabulario Internacional de Términos Fundamentales y

Generales de Metrología (aquí se usa abreviadamente VIM), publicado por ICONTEC, segunda edición, noviembre de 1997, se tiene:

Incertidumbre de Medición:

Parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos al mensurando.

En otras palabras, se define como la duda existente al expresar el resultado de una o varias mediciones, al no poder entregar de manera exacta el valor verdadero de la magnitud evaluada; siendo en todos los casos capaz sólo de determinar un rango entre el cual éste se encuentra.

Pero de forma general se cuenta con un documento que plantea un modelo de estimación de la incertidumbre en los procesos de medición, denominado GIEI (Guía Internacional para la Expresión de la Incertidumbre), desarrollada por organizaciones

reconocidas a nivel mundial, como son:

BIPM, CEI, FICC, ISO, OIML, UICPA y UIPPA en el año 1995.

A continuación se presenta de forma condensada las directrices generales contenidas en la GIEI, aplicables a cualquier magnitud física:

Pasos a seguir en el proceso de evaluación de la incertidumbre de medición:

1. Expresar matemáticamente la relación entre la magnitud Y y las magnitudes de entrada X_i

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

Consiste en estructurar una fórmula matemática que asocie todos los errores presentes en el proceso de medición.

2. Determinar el valor (x_i) de cada una de las magnitudes de entrada (X_i) mencionadas anteriormente.

Es asignar a cada una de las fuentes de error los valores conocidos o valores de entrada.

3. Evaluar la incertidumbre estándar $u(x_i)$ con que fue determinado cada valor de x_i .

Se pide estandarizar las incertidumbres que se tienen como datos de entrada.

4. Evaluar las covarianzas asociadas a todas las magnitudes que estén correlacionadas.

Consiste en determinar la dependencia entre las fuentes de error anteriormente establecidas.

5. Calcular el valor de medición "y" de la magnitud "Y", utilizando las estimaciones de x_i .

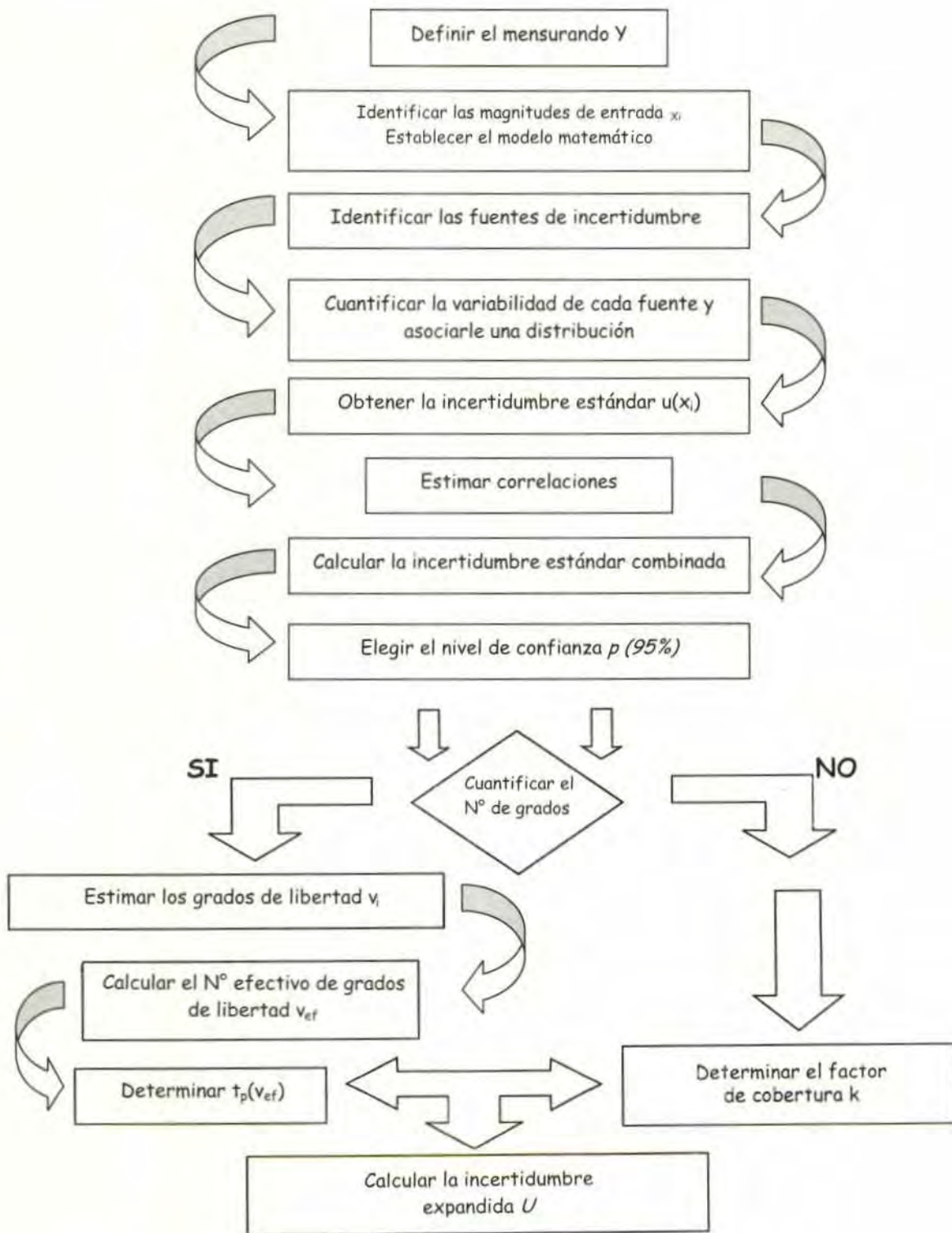


Diagrama para la estimación de incertidumbres de medición

Aplicar el análisis de probabilidad estadística a cada una de las fuentes de error.

6. Determinar la incertidumbre estándar compuesta $u_c(y)$ a partir de las incertidumbres estándar y de las covarianzas asociadas a las magnitudes de entrada.

Se deben sumar los productos de las covarianzas y las incertidumbres estandarizadas.

7. Hallar el número efectivo de grados de libertad (G_{efec})

Se halla dependiendo si la fuente de incertidumbre es tipo A o tipo B, y haciendo uso de la fórmula general.

8. Multiplicar la incertidumbre estándar compuesta $u_c(y)$ por el factor k de cubrimiento, correspondiente al número efectivo de grados de libertad (G_{efec}) y el nivel de confianza deseado.

De esta forma se expresa la incertidumbre expandida, dependiendo de la confiabilidad que desee asignar al proceso.

De manera tal que la incertidumbre será reportada así:

Se midió el diámetro del eje de acero, referencia HKF 42, y se obtuvo el siguiente resultado:

$D = 12,012\ 8\ \text{mm} \pm 0,005\ 035\ \text{mm}$, con nivel de confianza del 95% y factor de cobertura $k = 2,13$.

Siendo el número siguiente al símbolo \pm el valor numérico de la incertidumbre expandida calculada.

Los certificados de calibración se constituyen en la principal fuente de información para realizar los cálculos de la incertidumbre tipo B.

A continuación se describe qué son estos documentos y cuáles son los elementos mínimos que deben contener.

CONTENIDO DE LOS CERTIFICADOS DE CALIBRACION

Con el fin de garantizar la exactitud de las mediciones, es necesario contar con equipo de medición cuyas características sean las adecuadas para el proceso donde se usa y, además, evaluar su comportamiento. Ese proceso de evaluación, en el que se determina el error de los instrumentos por medio de una comparación con un patrón, se denomina calibración.

El resultado de una calibración se registra en un documento, con frecuencia llamado certificado de calibración.


Este certificado es importante para documentar que los equipos de medición están calibrados y que se puede utilizar cuando es necesario aplicar correcciones y evaluar incertidumbres. Además, su existencia es un requisito dentro de los sistemas de calidad para certificación de empresas o acreditación de laboratorios.

Las normas de calidad y los apartados relacionados con equipo de medición se pueden resumir en la tabla 1.

Para que un certificado de calibración sea aceptado por un auditor de calidad, debe, en primer lugar, ser emitido por un laboratorio competente - el Laboratorio Nacional de Metrología o un laboratorio secundario de calibración que ofrezca trazabilidad demostrable- y contener alguna información de carácter obligatorio.

NORMA	APARTADO
ISO 9001:95 Sistema de calidad. Modelo para el aseguramiento de calidad en diseño, producción, instalación y servicio.	4.11
ISO 9001:2000 Sistemas de gestión de calidad. Requisitos.	7.6
ISO 14001 Sistemas de gestión ambiental. Especificaciones y directrices para su uso.	4.5.1
ISO 9001:95 Sistema de calidad. Modelo para el aseguramiento de calidad en diseño, producción, instalación y servicio.	5.5 y 5.6
ISO 9001:2000 Sistemas de gestión de calidad. Requisitos.	8 y 9
ISO 14001 Sistemas de gestión ambiental. Especificaciones y directrices para su uso.	5.3.3

Tabla 1. Normas para certificación de empresas

 Industria y Comercio SUPERINTENDENCIA DIVISION DE METROLOGIA	
CERTIFICADO DE CALIBRACION Calibration Certificate	
NUMERO: 8097 Number	
LABORATORIO: Laboratory	MEDICIONES INDUSTRIALES
INSTRUMENTO: Object	JUEGO DE BLOQUES
FABRICANTE: Manufacturer	MLASER
MODELO: Model	N.I.
NUMERO DE SERIE: Serial Number	1091
RANGO DE MEDICION: Measurement Range	0,5 mm - 100 mm
SOLICITANTE: Customer	SENA REGIONAL VALLE
DIRECCION: Address	CI 52 N 2da -15 CALI
FECHA RECEPCION BIEN: 2001/04/09 Date of Equipment Reception	
FECHA DE CALIBRACION: 2001/04/27 Date of Calibration	
NUMERO DE PAGINAS INCLUYENDO ANEXOS: Number of pages and documents Attached	8
Ing. Victor Hugo Gil Gil Calibrado por: Calibrated by:	Ing. Ricardo Rodriguez Verificado Por: Checked by:
Redacción: 04 3047 Fecha de Exp. (Date of issue): 05/04/02	
Superintendencia de Industria y Comercio Calle Principal Sur 114a. 07000 Bogotá, Colombia Tel: (57) 1 261 1000 Fax: (57) 1 261 1001	

SISTEMA NACIONAL DE NORMALIZACION, CERTIFICACION Y METROLOGIA

Este certificado expresa solamente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser repetido por terceros, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito del laboratorio que lo emite.
 This Certificate is an accurate record of the performed measurement results. This certificate must not be partially repeated, except with the prior written permission of the issuing laboratory.
 Los resultados expresados en el presente certificado son válidos si se cumplen las condiciones de los parámetros que pueden disminuir del uso autorizado de los instrumentos calibrados.
 The results of this Certificate refer to the stated and certified in which the measurement was made. The issuing laboratory assumes no responsibility for any reading change due to the misuse of the calibrated instrument.
 El Usuario es responsable de la preservación de los instrumentos e estándares etiquetados.
 The user is responsible for having the appropriate calibration of equipment retained.
 Superintendencia de Industria y Comercio
 Calle Principal Sur 114a. 07000 Bogotá, Colombia
 Tel: (57) 1 261 1000 Fax: (57) 1 261 1001

Certificado de calibración emitido por la Superintendencia de Industria y Comercio / División Metrología, del juego de bloques del laboratorio de Metrología Dimensional del CDT ASTIN

Esa información ha sido establecida en la **Norma ISO 17025** "Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Calibración y Ensayo (apartado 5.10)".

El contenido de los certificados de calibración debe ser, como mínimo:

1. Un título. Por ejemplo, certificado de calibración
2. Nombre y dirección del laboratorio y lugar donde se realizaron las calibraciones, si no es en la dirección del laboratorio
3. Identificación única del certificado, por ejemplo, número de serie o código

4. Identificación clara de cada página del certificado e identificación de su final
5. Nombre y dirección del cliente que hizo la solicitud
6. Descripción e identificación clara del equipo o patrón calibrado
7. Fecha de recepción o de calibración del instrumento
8. Resultado de la calibración, en unidades del sistema internacional
9. Referencia a los procedimientos del muestreo, cuando aplique
10. Nombre, función y firma de las personas que autorizan el informe

- de ensayo o certificado de calibración
11. Si es necesario, declaración de que los resultados se relacionan solo con los equipos o patrones calibrados
12. Identificación de la especificación normalizada que se usó o una breve descripción del método
13. Condiciones ambientales en las que se realizó la calibración
14. Incertidumbre de la medición y/o una declaración metrológica identificada
15. Evidencias de que las mediciones son trazables a patrones nacionales o internacionales

DIVISIÓN DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Laboratorio de Metrología Dimensional

No. 8097
Pág. 5 de 6

Industria y Comercio

Hoja 4 del certificado de prueba del 26-04-01 con No. 14 DM-01
Cliente: BESA Y VALLE
No. del Juego Patron: 34 DM 00

MEDIDA NOMINAL	DESVIACION EN EL PUNTO MEDIO 20 °C	MARGEN DEL PUNTO MEDIO		IDENT No.
		Fe	Fu	
mm	µm	µm	µm	
1,005	0,06	0,00	0,06	5261
1,004	-0,07	0,03	0,04	5261
1,002	-0,03	0,04	0,05	5261
1,002	0,05	0,00	0,10	5261
1,001	0,08	0,08	0,08	5261
1	0,02	0,02	0,06	5261
0,8	0,11	0,04	0,03	5261
1,8	0,12	0,02	0,02	5261
1,8	0,14	0,04	0,04	5261
1,7	0,05	0,00	0,04	5261
1,6	-0,05	0,00	0,09	5261

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN DEL PUNTO MEDIO 0,0,1 • 1,0 a 1,1 µm. L en 8
MEDICIÓN DEL MARGEN DE DESVIACIÓN 0,1 µm

DIVISIÓN DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Laboratorio de Metrología Dimensional

No. 8097
Pág. 6 de 6

Industria y Comercio

TRABAJO REALIZADO : CALIBRACIÓN JUEGO DE 91 BLOQUES CALIBRE
NÚMERO DE PRUEBA : 14 021 01 04
MARCA OFICIAL : 18 DM 01
MÉTODO DE MEDICIÓN : COMPARACIÓN

RESULTADOS DE MEDICIÓN (CALIBRACIÓN): A todos los bloques calibre en referencia se les realizó el examen visual, determinándose que algunos presentaban rayas profundas, por lo que se les efectuó el tratamiento respectivo con la piedra y pasta recomendados. Luego se les efectuó la prueba de adherencia con el vidrio plano paralelo, pasando la prueba todos los bloques.

TRAZABILIDAD:
La División de Metrología de la Superintendencia de Industria y Comercio, asegura el mantenimiento de la trazabilidad de los patrones de trabajo utilizados en estas mediciones, con los Patrones Nacionales de Referencia. La División de Metrología custodia y mantiene estos patrones, los cuales han sido certificados por el PTB (Physikalisch Technische Bundesanstalt) de Alemania.

Los patrones utilizados en esta calibración corresponden al juego de bloques calibre con fecha de calibración 2000-06-15 y Certificado de Calibración No. 6532.

OBSERVACIONES:

- El margen de desviación es $f_s = f_o + f_u$ donde:
 f_s Es el margen de desviación de la longitud del bloque calibre en cualquier punto de la superficie de medición como combinación de los errores de paralelismo y planitud.
 f_o Error por ensima de la longitud en el punto medio del bloque calibre.
 f_u Error por debajo de la longitud en el punto medio del bloque calibre.
- La temperatura de referencia es de 20 grados Celsius (20 °C).
- Los resultados de medición se aplican solamente para el estado de los bloques en el momento de la prueba.

Bogotá D.C., 2001-04-27
FIRMA(S) AUTORIZADA(S):
Authorized signature(s)

Elaboró: 
Ing. VICTOR HUGO GIL GIL

Revisó: 
Ing. RICARDO RODRIGUEZ RODRIGUEZ

Comisado del ICAE
Pta. Sotomayor
Calle 100 No. 100-100
Bogotá D.C. Colombia

- 16. El certificado de calibración se referirá solo a magnitudes metrológicas y mencionará, en detalle, qué apartados de la especificación se cumplen y cuáles no
- 17. El certificado de calibración no contendrá recomendación alguna sobre el intervalo de recalibración, excepto cuando así se haya acordado con el cliente. Este requisito se puede supeditar a regulaciones vigentes
- 18. Si se emiten opiniones e interpretaciones en el certificado, el laboratorio será capaz de demostrar que ha documentado la base sobre la cual se han emitido opiniones o interpretaciones.

Toda esta información puede ser libremente distribuida en un certificado

de calibración. Cualquier otra que sea aclaratoria se puede incluir en los certificados de calibración.

Se recomienda verificar que la información de los certificados de calibración contratados a laboratorios externos concuerda con la señalada. En caso contrario, se puede solicitar al laboratorio de calibración la explicación correspondiente.

BIBLIOGRAFÍA

- * Vocabulario internacional de términos generales y básicos de metrología. OIML.
- * Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de calibración y ensayo. ISO 17025.

- * Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAP, IUPAC, OIML (1995).
- * International Vocabulary of Fundamental and General Terms in Metrology, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAP, IUPAC, OIML (1993).
- * Política para la Declaración de Incertidumbres en el CDT ASTIN (noviembre del 2001).
- * Certificados de calibración, SIC departamento de Metrología (2001).
- * PRETELOTERO, Edgar Marino; Notas de Clase; sin editar.

