

1. OBJETIVO

Establecer un procedimiento que permita la identificación de las fuentes y su contribución en la incertidumbre, con la cual se podrá estimar la incertidumbre de los equipos y/o instrumentos empleados por el laboratorio.

2. ALCANCE

Se aplica a los ensayos de tracción, dureza, impacto, químico, doblado y a mediciones con pie de metro y micrómetro realizados en el laboratorio de ensayos mecánicos de SIMET-USACH.

3. RESPONSABILIDADES

El responsable de este procedimiento es el encargado de calidad, cuyas funciones y responsabilidades están descritas en su perfil de cargo.

4. METODO

4.1 GENERALIDADES

Los procedimientos de medición están sujetos a errores aleatorios, además de otros efectos que pueden afectar los resultados de las mediciones. Por este motivo, las incertidumbres controladas y bien caracterizadas son fundamentales para decidir el grado de confiabilidad de los resultados.

ELABORADO	REVISADO	APROBADO
Fecha: Enero 2019	Fecha: Enero 2019	Fecha: Enero 2019
Nombre: César Segovia S.	Nombre: Héctor Bruna R.	Nombre: Alfredo Artigas Abuin
Firma:	Firma:	Firma:

Para ello, el VIM define *incertidumbre de medida* o *incertidumbre*, al 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 semiapertura 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.

4.2 TIPOS DE INCERTIDUMBRES ESTANDAR

Existen dos tipos de evaluación de las incertidumbres:

- **Tipo A:** evaluación de una componente de la incertidumbre de medida mediante un análisis estadístico de los valores medidos obtenidos bajo condiciones de medida definidas (VIM).
NOTA 1: Para varios tipos de condiciones de medida, véase condición de repetibilidad, condición de precisión intermedia y condición de reproducibilidad.
- **Tipo B:** evaluación de una componente de la incertidumbre de medida de manera distinta a una evaluación tipo A de la incertidumbre de medida (Ejemplo Evaluación basada en informaciones asociadas a valores publicados y reconocidos; asociadas al

valor de un material de referencia certificado; obtenidas a partir de un certificado de calibración; relativas a la deriva; obtenidas a partir de la clase de exactitud de un instrumento de medida verificado; obtenidas a partir de los límites procedentes de la experiencia personal) (VIM).

5. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

Se debe reunir una lista de las fuentes identificadas de incertidumbre. En esta etapa, no es necesario involucrarse en la cuantificación de los componentes individuales. El objetivo es tener completamente claro lo que se debe considerar para el cálculo. No obstante, se puede dar un estimado de su peso relativo o contribución en la expresión final.

5.1 INCERTIDUMBRE ENSAYO DE DUREZA

Las fuentes de incertidumbres más comunes son:

- Máquina de Dureza (incertidumbre instrumental o del equipo): Es la incertidumbre asociada al durómetro, por este motivo se debe contar con el certificado de calibración correspondiente, el cual indique con claridad su incertidumbre.
- Incertidumbre de la operación (incluye el operador): Es una de las incertidumbres las cuales se debe determinar. Para esto se confeccionan materiales de referencia secundarios de dureza, con los cuales se determina la incertidumbre de la operación. Estos materiales de referencia serán utilizados para la realización de la verificación del equipo.

5.2 INCERTIDUMBRE ENSAYO DE TRACCIÓN

Las fuentes de incertidumbres más comunes son:

- Pie de Metro y Micrómetro: Es la incertidumbre asociada al instrumento de medición, por este motivo se debe contar con el certificado de calibración correspondiente, el cuál indique con claridad la trazabilidad e incertidumbre del instrumento.
- Máquina de Tracción: Es la incertidumbre asociada a la máquina de tracción, por este motivo se debe contar con el certificado de calibración correspondiente, el cual indique con claridad su trazabilidad e incertidumbre.

- Incertidumbre de la operación (incluye el operador): Es una de las incertidumbres las cuales se debe determinar, pero al mismo tiempo es de las más complejas de estimar (ver Davis et col.).
- Fuentes de incertidumbre en los ensayos de tracción (según EA-4/10):
 - Incertidumbre de la fuerza de calibración, w_1
 - Incertidumbre de reproducibilidad, w_2
 - Incertidumbre de repetibilidad, w_3
 - Incertidumbre de resolución, w_4
 - Incertidumbre de fluencia, w_5
 - Incertidumbre por deriva del cero, w_6
 - Incertidumbre por temperatura, w_7
 - Incertidumbre por interpolación, w_8

Ahora, para una celda estándar ISO 376 clase 1, el aporte de la incertidumbre relativa expandida es de 0,32%, y para una clase 2, es de 0,64%, por lo tanto, usando un criterio conservador, el aporte final va a ser de 0,64% de incertidumbre relativa expandida.

Entonces la incertidumbre va a estar dada por:

Fuente	Aporte relativo
Método	Bajo
Ensayo (incluye el efecto de la confección de la probeta)	Medio
Operador	Bajo

5.3 INCERTIDUMBRE ENSAYO DE IMPACTO

Las fuentes de incertidumbres más comunes son:

- Pie de Metro: Es la incertidumbre asociada al instrumento de medición, por este motivo se debe contar con el certificado de calibración correspondiente, el cual indique con claridad la trazabilidad e incertidumbre del instrumento.
- Máquina de Impacto: Es la incertidumbre asociada a la máquina de impacto, por este motivo se debe contar con la calibración correspondiente, el cual indique con claridad su incertidumbre.

- Incertidumbre de la operación (incluye el operador): Es una de las incertidumbres las cuales se debe determinar, pero al mismo tiempo es de las más complejas de estimar (ver Davis et col.).

5.4 INCERTIDUMBRE ANALISIS QUÍMICO

Las fuentes de incertidumbres más comunes son:

- Error de precisión del instrumento determinado por la verificación indirecta.
- Homogeneidad del material de análisis.
- Repetibilidad del instrumento.

5.5 INCERTIDUMBRE ENSAYO DE DOBLADO

Las fuentes de incertidumbres más comunes son:

Cuando el ensayo cumple, es decir no existen grietas en la superficie, no existen fuentes de incertidumbre, ya que no se pueden medir grietas que no existen (en caso de consultas, se recomienda revisar el instructivo IOC-2801 en el punto 7.2).

6. INCERTIDUMBRES

Para estimar la incertidumbre, se procede de la siguiente forma:

- a) Exprese en términos matemáticos la dependencia del mensurando (magnitud de salida) “Y” respecto de las magnitudes de entrada “Xi”, según la ecuación (1). Si se trata de una comparación directa de dos patrones, la ecuación puede resultar muy sencilla; por ejemplo,

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (\text{Ec. 1})$$

- b) Identifique y aplique todas las correcciones significativas.
- c) Relacione todas las fuentes de incertidumbre en la forma de un análisis de incertidumbres según se explica:

- El análisis de la incertidumbre para una medición debe incluir una lista de todas las fuentes de incertidumbre, junto con las incertidumbres típicas de medida asociadas y los métodos para evaluarlas. En el caso de mediciones repetidas, debe indicarse también el número n de observaciones. Para mayor claridad, los datos referentes a este análisis se presentan en forma tabulada. En la tabla, las magnitudes deben expresarse mediante un símbolo físico X_i o un breve identificador, indicando para cada una de ellas, como mínimo, el valor estimado x_i , la incertidumbre típica de medición asociada $u(x_i)$, el coeficiente de sensibilidad c_i y las diferentes contribuciones a la incertidumbre $u_i(y)$. Asimismo, debe indicarse la dimensión de cada magnitud junto con los valores numéricos que se facilitan en la tabla.

d) Calcule la incertidumbre típica u (q) para magnitudes medidas conforme a su naturaleza (tipo A) y a la cantidad de datos disponibles.

e) Para valores únicos, por ejemplo, valores resultantes de mediciones previas, valores de corrección, valores tomados de la literatura técnica, adopte la incertidumbre típica cuando se conozca la misma o pueda calcularse. Preste atención a la representación de la incertidumbre utilizada. Si no dispone de datos de los que pueda derivar la incertidumbre típica, tendrá que estimar el valor de $u(x_i)$ basándose en la experiencia científica:

f) Cuando sólo se conoce un **valor único** de la magnitud X_i , por ejemplo, el valor de una única medición, el valor resultante de una medición previa, un valor de referencia obtenido de la literatura o el valor de una corrección, este valor debe utilizarse como x_i . La incertidumbre típica $u(x_i)$ asociada a x_i debe adoptarse siempre que se conozca. En caso contrario, debe calcularse a partir de datos inequívocos sobre la incertidumbre. Si no se dispone de este tipo de datos, la incertidumbre tendrá que estimarse sobre la base de la experiencia.

g) Para magnitudes de entrada para las que se conoce o puede suponerse una distribución de probabilidad, calcule el valor esperado y la incertidumbre típica $u(x_i)$ conforme a lo indicado. Si sólo conoce o puede estimar los límites superior e inferior, calcule la incertidumbre típica $u(x_i)$ de acuerdo con:

- Cuando se pueda suponer una **distribución de probabilidad** para la magnitud X_i , ya sea basándose en la teoría o en la experiencia, la expectativa o valor esperado y la raíz cuadrada de la varianza de su distribución deben tomarse como el estimado x_i y la incertidumbre típica asociada $u(x_i)$, respectivamente.
- Si sólo pueden estimarse unos **límites superior e inferior** a_+ y a_- para el valor de la magnitud X_i (por ejemplo, especificaciones del fabricante de un instrumento de medición, intervalo de temperaturas, error de redondeo o de truncamiento resultante de la reducción automatizada de los datos), puede suponerse una distribución de probabilidad con una densidad de probabilidad constante entre dichos límites (distribución de probabilidad rectangular) para la variabilidad de la magnitud de entrada X_i . Según el anterior caso (b), se obtiene:

$$X_i = \frac{1}{2} (a_+ + a_-)$$

para el valor estimado y:

$$u^2(x_i) = \frac{1}{12} (a_+ - a_-)^2$$

para el cuadrado de la incertidumbre típica. Si la diferencia entre los valores límites se expresa como $2a$, la ecuación se convierte en:

$$u^2(x_i) = \frac{1}{3} a^2$$

- La distribución rectangular es una descripción razonable en términos de probabilidad del conocimiento que se tenga sobre la magnitud de entrada X_i cuando no existe ninguna otra información más que sus límites de variabilidad. Pero si se sabe que los valores de la magnitud en cuestión próximos al centro del intervalo de variabilidad son más probables que los valores próximos a los extremos, un modelo más adecuado sería una distribución triangular o normal. Por otro lado, cuando los valores cercanos a los extremos son más probables que los valores cercanos al centro, es más apropiada una distribución con forma de U.

h) Calcule, para cada magnitud de entrada X_i , la contribución $u_i(y)$ a la incertidumbre asociada a la estimación de salida resultante de la estimación de entrada x_i , y sumando sus

cuadrados tal como se describe anteriormente para obtener el cuadrado de la incertidumbre típica $u(y)$ del mensurando. Si sabe que las magnitudes de entrada están correlacionadas, aplique el método que indica la norma NCh 2631/1 en su Anexo A.

i) Calcule la incertidumbre expandida U , multiplicando la incertidumbre típica $u(y)$ asociada a la estimación de salida por un factor de cobertura k elegido. La incertidumbre expandida de medida U , se calcula multiplicando la incertidumbre típica $u(y)$ de la estimación de salida y por un factor de cobertura k .

$$U = k u(y)$$

Cuando se puede atribuir una distribución normal al mensurando y la incertidumbre típica asociada a la estimación de salida tiene la suficiente fiabilidad, se utiliza el factor de cobertura usual $k = 2$. La incertidumbre expandida asociada corresponde a una probabilidad de cobertura de, aproximadamente, un 95%.

Para los cálculos y registros de incertidumbre remítase al IOC-2801 y a los registros Reg 2801, Reg 2802, Reg 2803, Reg 2804, Reg 2805, Reg 2806, Reg 2807 y Reg 2808.

7. REGISTROS

Reg 2801 "Formulario de cálculo de incertidumbre dureza".

Reg 2802 "Formulario de cálculo de incertidumbre pie de metro".

Reg 2803 "Formulario de cálculo de incertidumbre tracción".

Reg 2804 "Formulario de cálculo de incertidumbre micrómetro".

Reg 2805 "Formulario de cálculo de incertidumbre impacto".

Reg 2806 "Formulario de cálculo de incertidumbre de ensayo de impacto".

Reg 2807 "Formulario de cálculo de incertidumbre de verificación de equipo de análisis químico".

Reg 2808 "Formulario de cálculo de incertidumbre de análisis químico".

8. BIBLIOGRAFÍA

- IOC-2801 Calculo de la incertidumbre
- NCh-ISO 17025: "Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración".
- CIPM-ISO JCGM 200 Vocabulario Internacional de Metrología – Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM), 3ª Edición en español 2008
- Guía de Calibración EURAMET/cg-04/v.01 INCERTIDUMBRE EN LAS MEDICIONES DE FUERZA
- NCh 2631/1 Incertidumbre – Parte 1: Guía para la expresión de la incertidumbre de medida en la calibración
- John F. Clare^{a*}, Annette Koo^a, Robert B. Davies^b, Evaluation of Measurement Comparisons Using Generalised Least Squares: the Role of Participants' Estimates of Systematic Error, en ^a Measurement Standards Laboratory of New Zealand, y ^b Statistics Research Associates Ltd, New Zealand, publicado en arXiv.org, Universidad de Cornell (NY), EE.UU. (2011)

HISTORIAL DE MODIFICACIONES

VERSION	FECHA	CAPITULO AFECTADO	APARTADOS MODIFICADOS
1	10/09/13	3.- Responsabilidades 9.- Anexos	Se le asignan responsabilidades a SGT Se incorpora IOC 2801, se eliminan tres anexos
2	03/03/14	Todos	Se revisa por efecto de la auditoria INN y la auditoría interna
3	29/07/2015	Todo el documento	Se incorpora micrómetro
4	17/12/2015	9.- Anexos	Se actualizan los formularios de incertidumbre (se incorporan unidades).
5	27/01/2016	Todo el documento	Se modifica revisión por versión, se eliminan anexos.
6	13/05/2017	Todo el documento	Se incluye documentación relacionada con el cálculo para impacto
7	23/08/2018	8.- Documentación relacionada	Se actualiza la norma NCh-ISO 17025 de referencia de 2005 a 2017.
8	04/12/2018	3.Responsabilidades	Se modifica punto 3 Responsabilidades
9	10/01/2019	5.- Descripción del procedimiento	Se incluyen los conceptos relacionados con el ensayo de análisis químico y el ensayo de doblado