

INTRODUCCIÓN AL CÁLCULO DE INCERTIDUMBRES DE ENSAYO

FERNANDO RODRÍGUEZ GARCÍA

CICE

Comité de Infraestructuras
Para la Calidad de la Edificación

SACE

Subcomisión Administrativa
para la Calidad de la Edificación

FERNANDO RODRÍGUEZ GARCÍA
MADRID, 03.02.2016

F H E C O R ■
Ingenieros Consultores

1. Introducción
2. Error e incertidumbre
3. Exactitud y precisión de medida
4. Tipos de medidas
5. Incertidumbre típica o de medida
6. Incertidumbre combinada
7. Incertidumbre expandida
8. Metodología de cálculo

CRITERIOS PREVIOS

- Criterios básicos. Una introducción
- No es un curso de metrología
- Enfocado a la aplicación práctica
- Enfocado a la actividad de un laboratorio, no a un certificador, ni a un calibrador de equipos

OBJETIVOS

1. Fijar conceptos básicos
2. Realizar algún ejemplo sencillo

DOCUMENTACIÓN BÁSICA

informe
UNE

UNE-ISO/IEC GUÍA 98-3 IN

Febrero 2012

TÍTULO

Incertidumbre de medida

Parte 3: Guía para la expresión de la incertidumbre de medida
(GUM:1995)

Uncertainty of measurement. Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995).
Incertitude de mesure. Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995).

CORRESPONDENCIA

Este informe es equivalente a la Norma Internacional Guía ISO/IEC 98-3:2008.

OBSERVACIONES

ANTECEDENTES

Este informe ha sido elaborado por el comité técnico AEN/CTN 82 *Metrología y calibración* cuya Secretaría desempeña CEM.

Editada e impresa por AENOR.
Deposito legal: M 6366-2012

© AENOR 2012
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Géova, 6
28004 MADRID-España

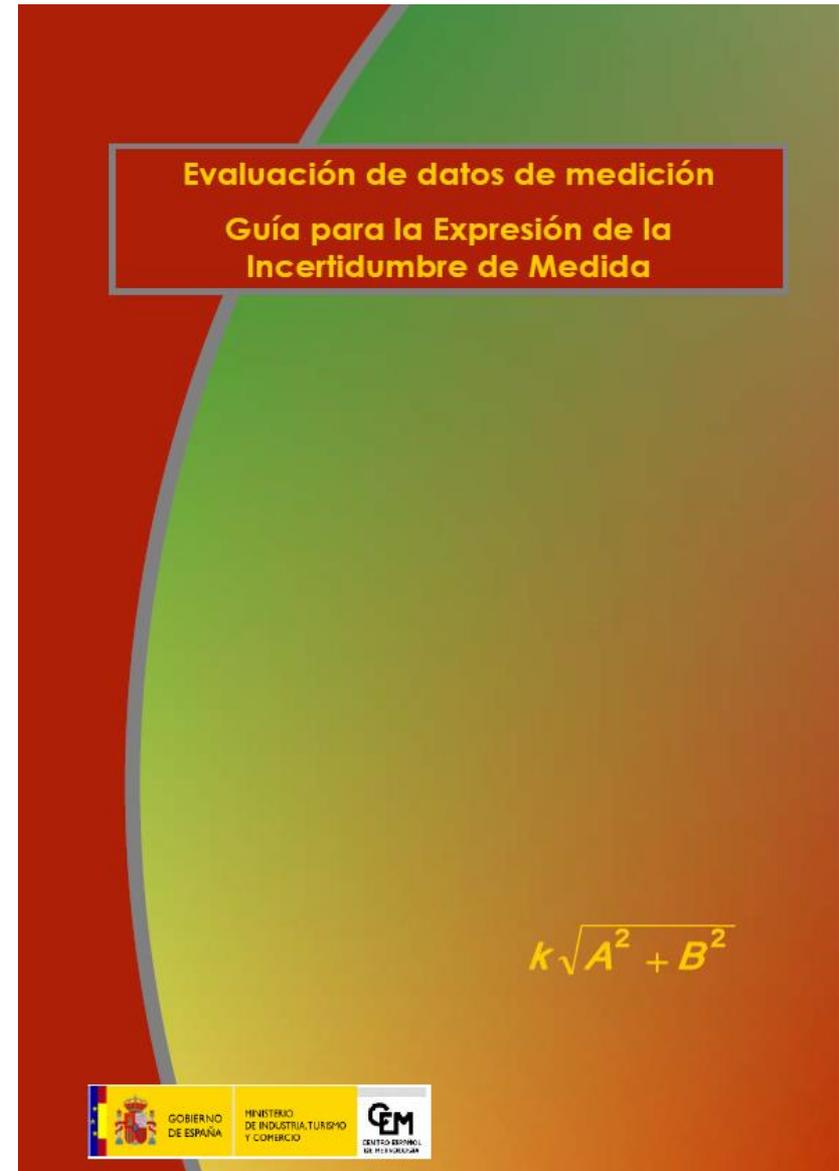
info@aenor.es
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201
Fax: 913 104 032

142 Páginas

DOCUMENTACIÓN BÁSICA

Descarga gratuita
www.cem.es



DOCUMENTACIÓN BÁSICA

informe
UNE

UNE-ISO/IEC GUÍA 99 IN

Febrero 2012

TÍTULO

Vocabulario Internacional de Metrología

Conceptos fundamentales y generales y términos asociados (VIM)

International vocabulary of metrology. Basics and general concepts and associated terms (VIM).

Vocabulaire international de métrologie. Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM).

CORRESPONDENCIA

Este informe es idéntico a la Guía ISO/IEC 99:2007.

OBSERVACIONES

ANTECEDENTES

Este informe ha sido elaborado por el comité técnico AEN/CTN 82 *Metrología y calibración* cuya Secretaría desempeña CEM.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 5280/2012

© AENOR 2012
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Génova, 6
28004 MADRID-España

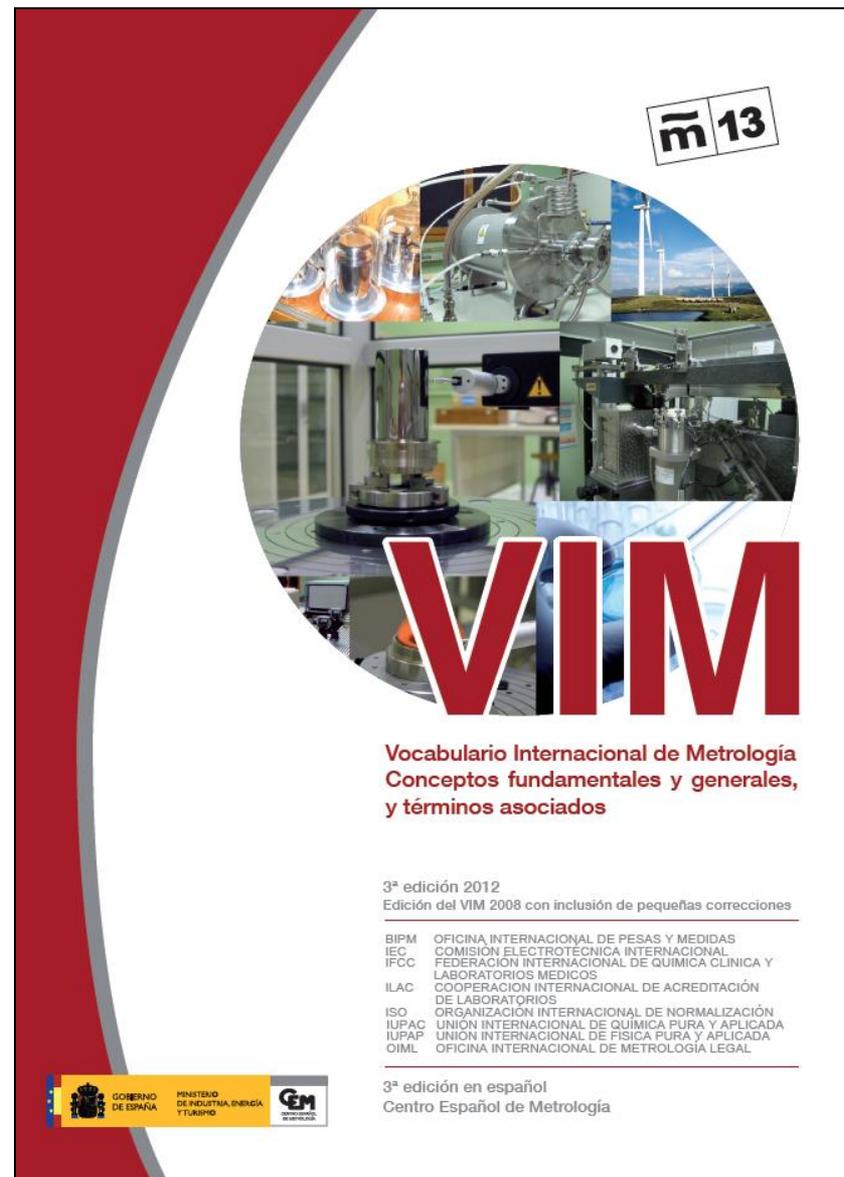
info@aenor.es
www.aenor.es

Tel: 902 102 201
Fax: 913 104 032

67 Páginas

DOCUMENTACIÓN BÁSICA

Descarga gratuita
www.cem.es



m 13

VIM

Vocabulario Internacional de Metrología
Conceptos fundamentales y generales,
y términos asociados

3ª edición 2012
Edición del VIM 2008 con inclusión de pequeñas correcciones

BIPM	OFICINA INTERNACIONAL DE PESAS Y MEDIDAS
IEC	COMISION ELECTROTECNICA INTERNACIONAL
IFCC	FEDERACION INTERNACIONAL DE QUIMICA CLINICA Y LABORATORIOS MEDICOS
ILAC	COOPERACION INTERNACIONAL DE ACREDITACION DE LABORATORIOS
ISO	ORGANIZACION INTERNACIONAL DE NORMALIZACION
IUPAC	UNION INTERNACIONAL DE QUIMICA PURA Y APLICADA
IUPAP	UNION INTERNACIONAL DE FISICA PURA Y APLICADA
OIML	OFICINA INTERNACIONAL DE METROLOGIA LEGAL

3ª edición en español
Centro Español de Metrología

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGIA Y TURISMO
CEM

Fuentes de error en una medición



Fuentes de error en una medición

1. ERRORES DEBIDOS A LA PROPIA PIEZA

- Errores de **forma**
- Errores de **deformación**

2. ERRORES DEBIDOS AL INSTRUMENTO

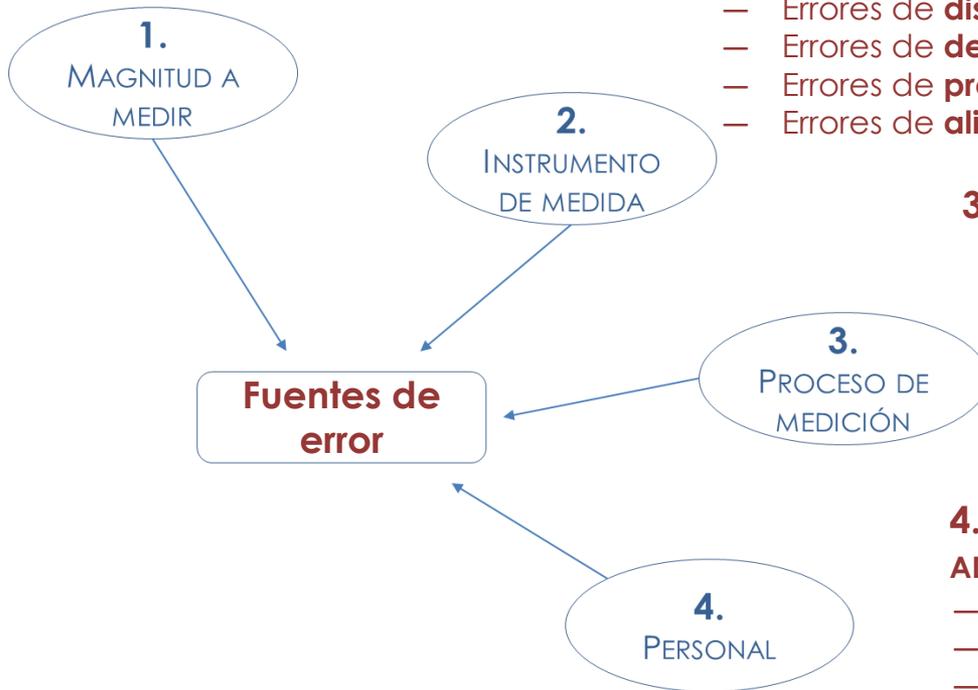
- Errores de **diseño**
- Errores de **desgaste**
- Errores de **presión y forma de los contactos**
- Errores de **alineación**

3. ERRORES DEBIDOS A LAS CONDICIONES AMBIENTALES

- Errores por variación de **temperatura**
- Errores por influencia de la **humedad**
- Errores por influencia de la **presión**
- Errores por falta de **iluminación**
- Errores por influencia de **campos eléctricos y magnéticos**

4. ERRORES DEBIDOS AL OPERADOR O AL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

- Errores de **lectura**
- Errores por **fatiga**
- Errores por **descuido**
- Errores por un **manejo incorrecto**
- Errores por **mal posicionamiento** de la pieza



Tipos de errores de ensayo

ERROR SISTEMÁTICO

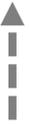
- No puede eliminarse
- Pero puede reducirse



- Si el efecto del error es significativo, entonces

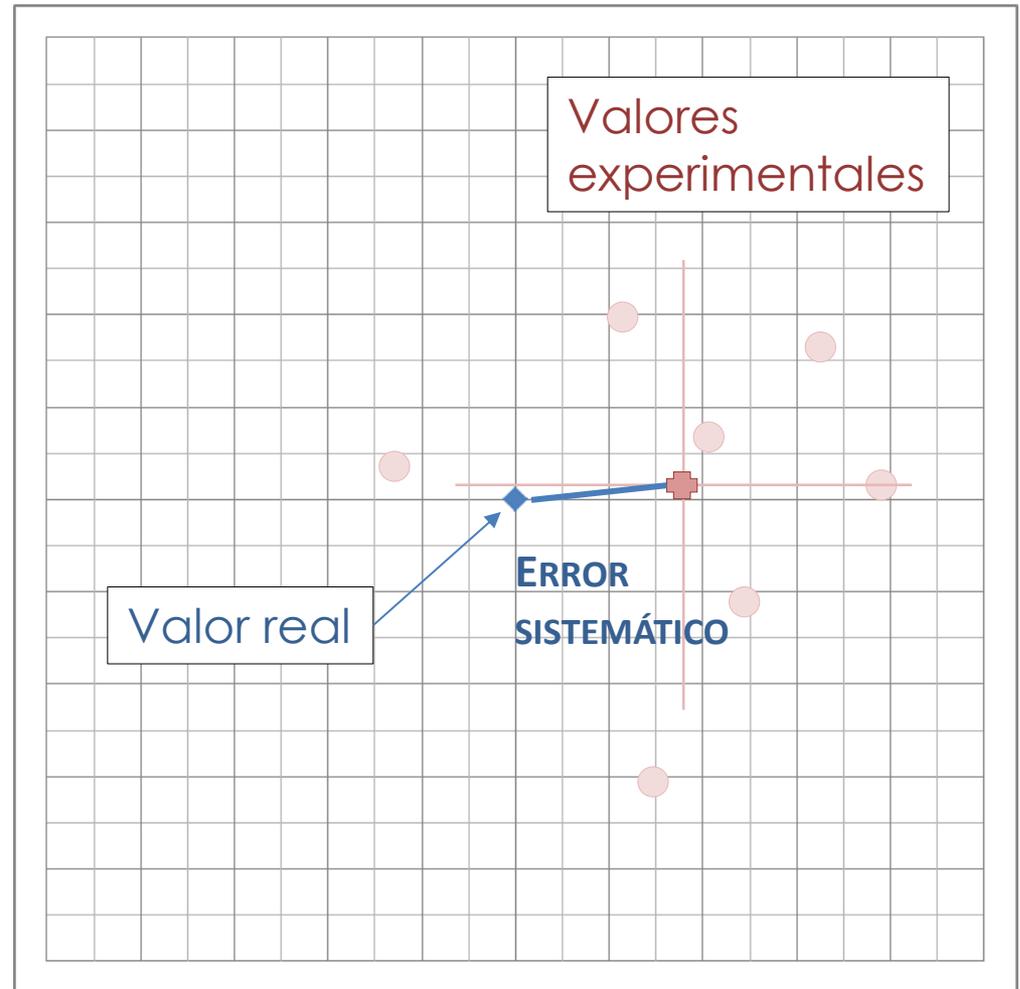


CORRECCIÓN PARCIAL



Determinación:

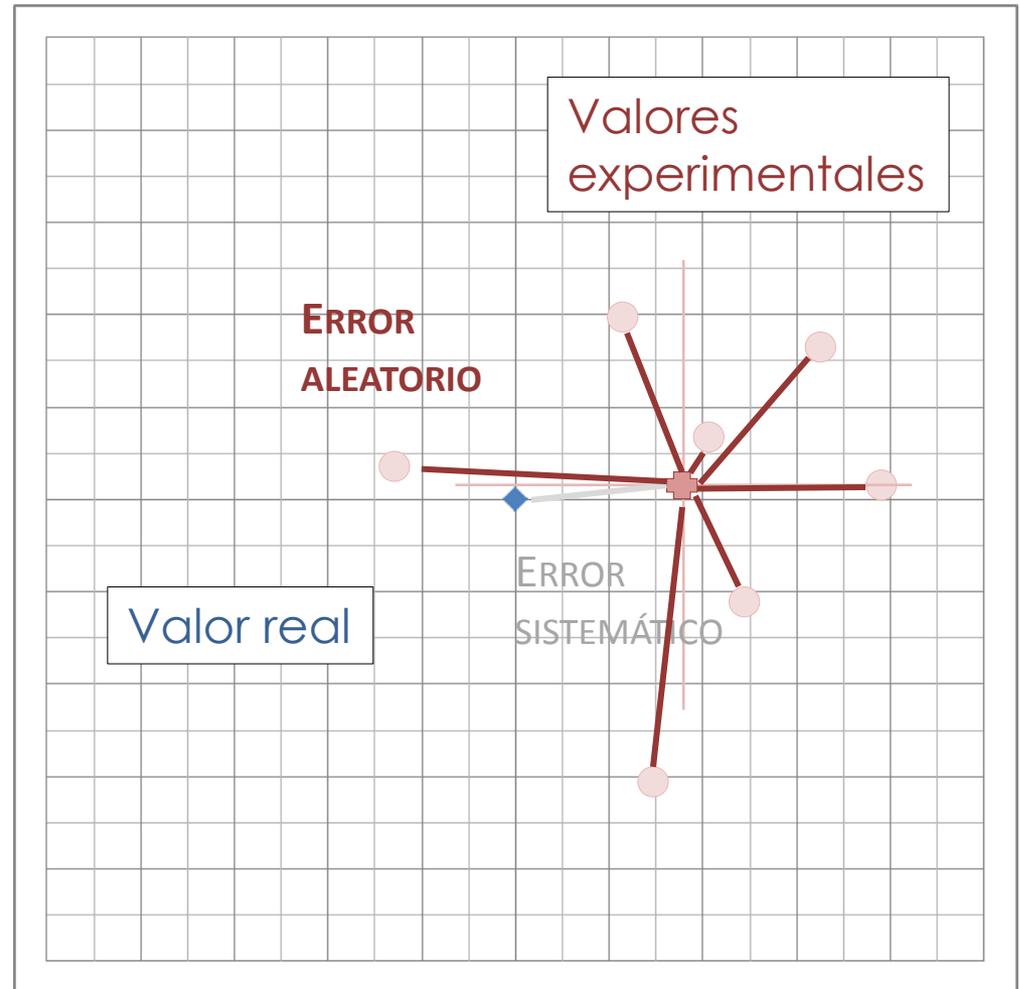
Por ejemplo, por **calibración de equipos**



Tipos de errores de ensayo

ERROR ALEATORIO

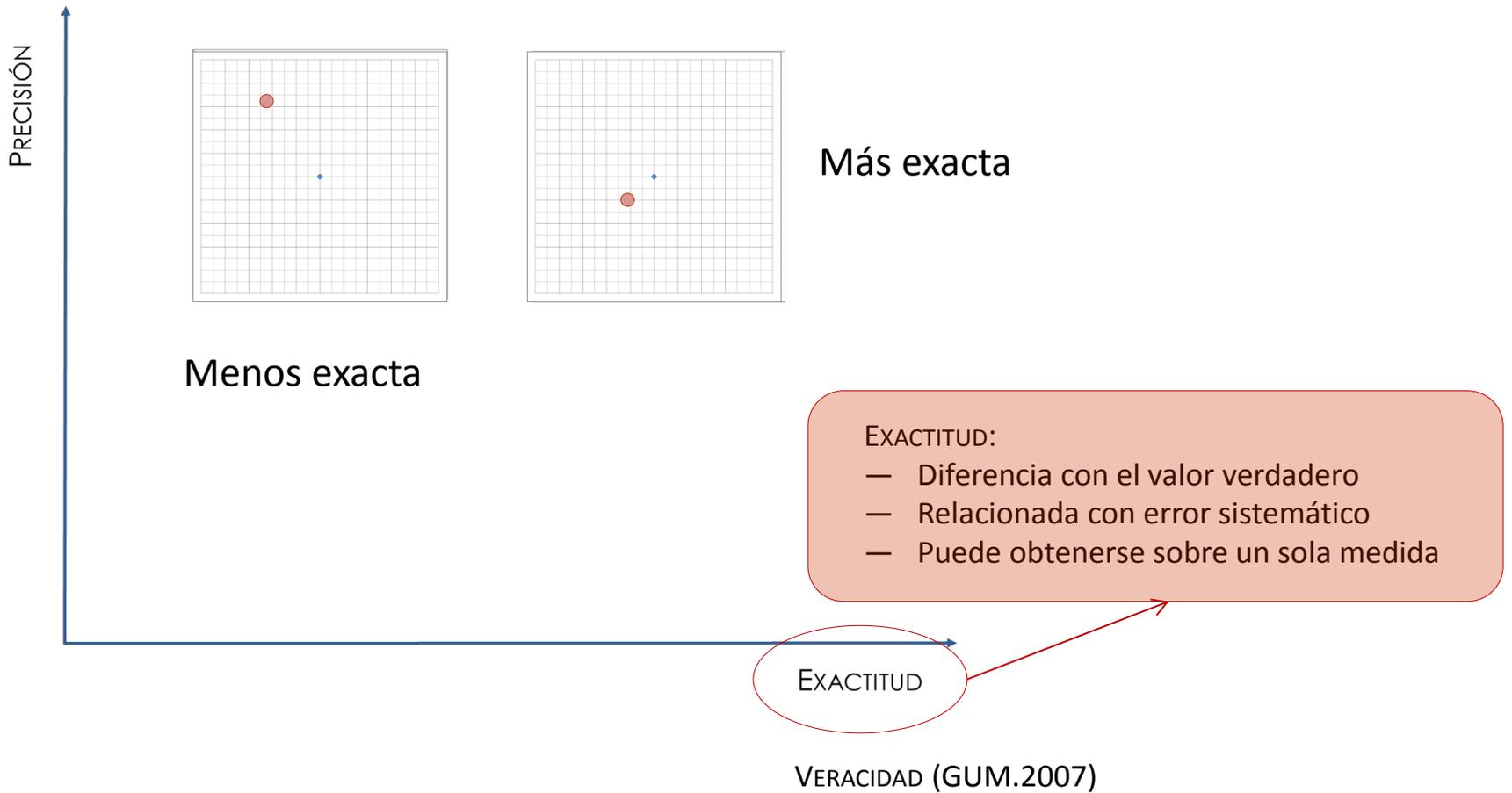
- Puede reducirse incrementando el número de medidas
- La media de los errores aleatorios es CERO



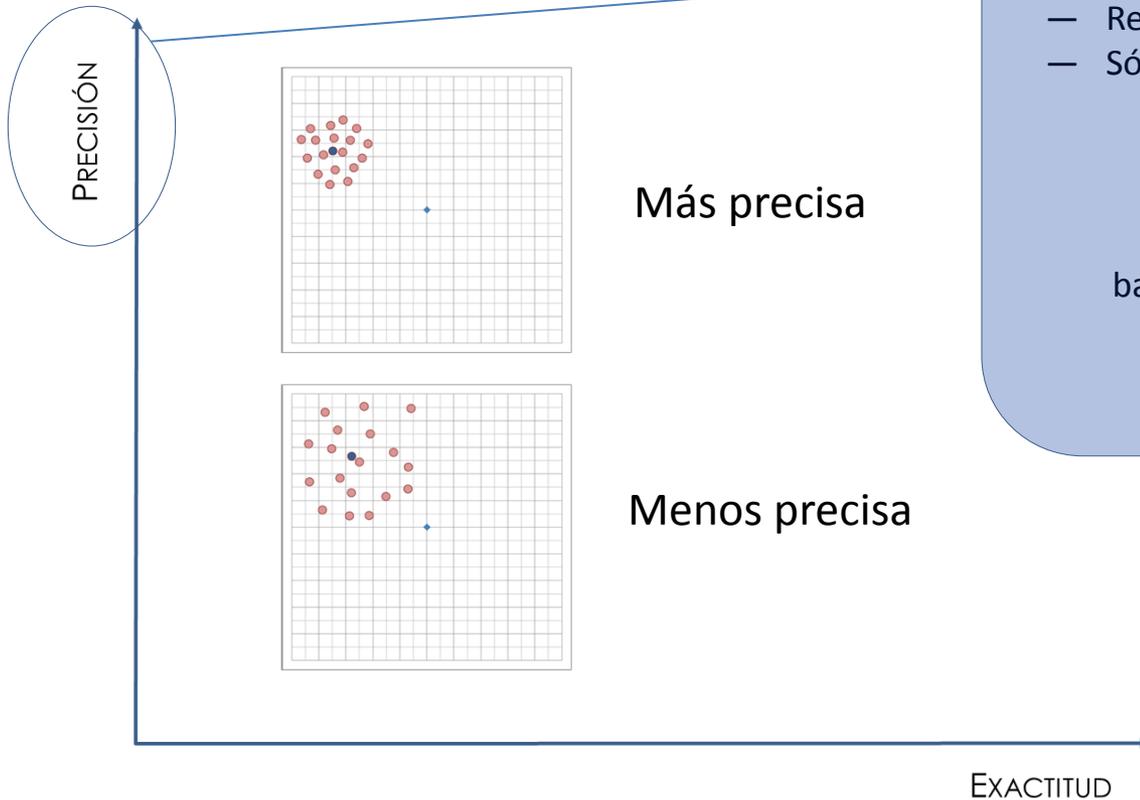
Principios básicos

1. **No es posible obtener valores exactos** como resultado de las medidas
2. Toda medida debe ser objeto de una **corrección**
3. Las **correcciones que se pueden aplicar** son las que se corresponden con factores conocidos
4. Las **correcciones que no se pueden aplicar** darían lugar a una **corrección residual**
5. **La incertidumbre es el valor máximo de la corrección residual**

Exactitud y precisión



Exactitud y precisión



PRECISIÓN:

- Mide la dispersión
- Relacionada con el error aleatorio
- Sólo puede obtenerse sobre varias medidas

- a) sobre un mismo objeto
- b) sobre objetos similares

bajo condiciones específicas

- Condiciones de repetibilidad
- Condiciones de reproducibilidad

El proceso de medida y sus tipos

MEDIDA:

Es el proceso que consiste en **obtener experimentalmente** uno o varios valores que **pueden atribuirse razonablemente** a una magnitud

TIPOS DE MEDIDA:

- DIRECTA: se obtienen directamente de un equipo de medida

Ej: longitud L_0 de una barra de acero

- INDIRECTA: se obtienen de la aplicación de una función matemática a una serie de resultados obtenidos a través de medidas directas

Ej: resistencia del hormigón

$$f_c = \frac{F}{\frac{\pi \cdot (\phi_1 + \phi_2)^2}{16}}$$

Magnitudes de influencia en la medida



MAGNITUDES DE INFLUENCIA

- Magnitudes diferentes del mensurando
- Tienen efecto en el resultado
- Se consideran o no por comparación de su efecto con la apreciación requerida.

Minimizar los efectos:

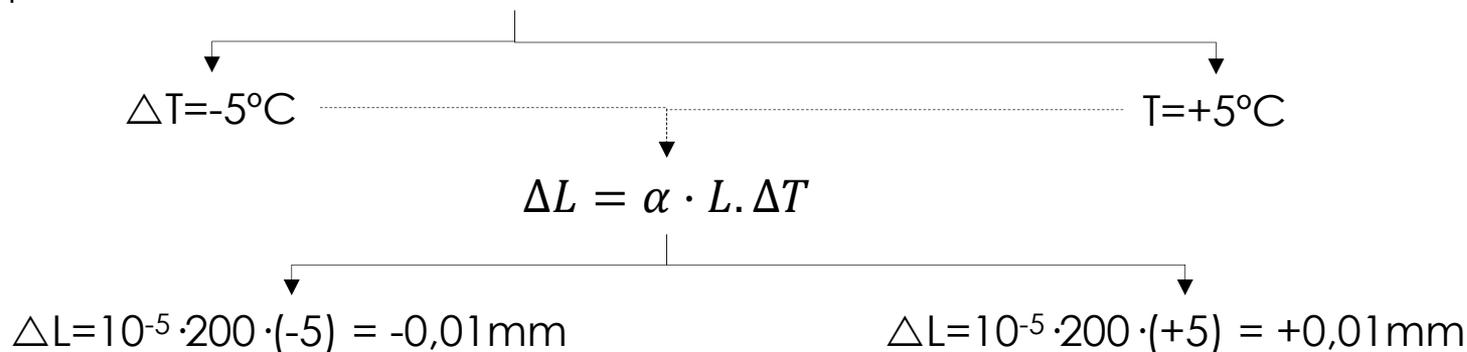
CONDICIONES DE REPETIBILIDAD

Magnitudes de influencia en la medida

Ejemplo:

MEDIDA:	Determinación de la longitud de una barra de acero
MAGNITUD DE INFLUENCIA:	Temperatura
APRECIACIÓN:	0,1 mm – 0,01 mm
VALOR MEDIO MEDIDA:	200 mm

Temperatura de medida $T = 20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$



$$\Delta L = \pm 0,01 \text{ mm}$$

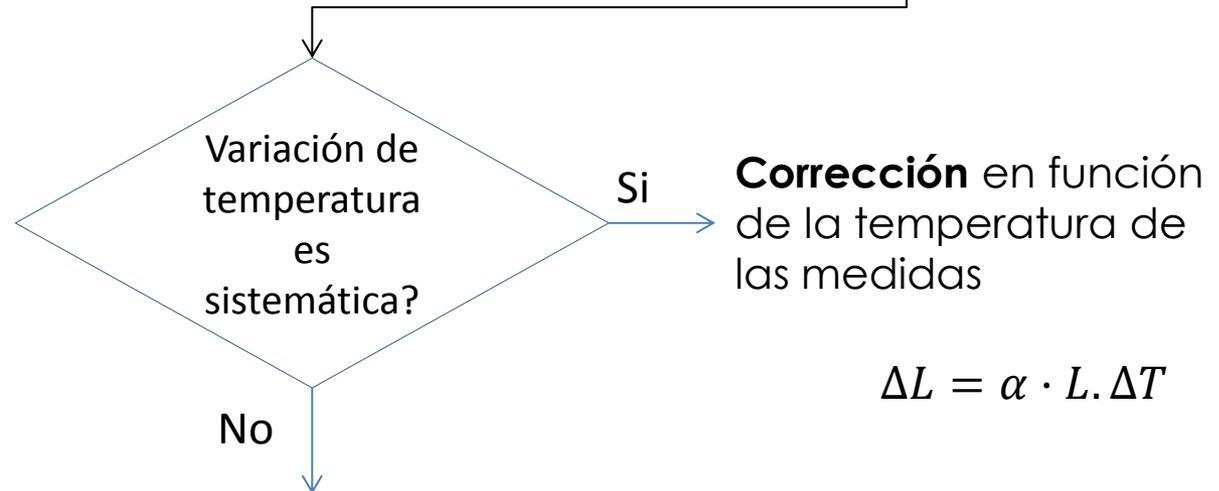
Si apreciación es 0,1mm, NO es relevante
Si apreciación es 0,01mm, SI es relevante

$$\Delta L = \pm 0,01 \text{ mm}$$

Si apreciación es 0,1 mm, NO es relevante

Nada que hacer

Si apreciación es 0,01 mm, SI es relevante



$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$$

Asumirla como **factor de incertidumbre de medida**

Incertidumbre de medida:

Es un parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a una mensurando, a partir de la información disponible

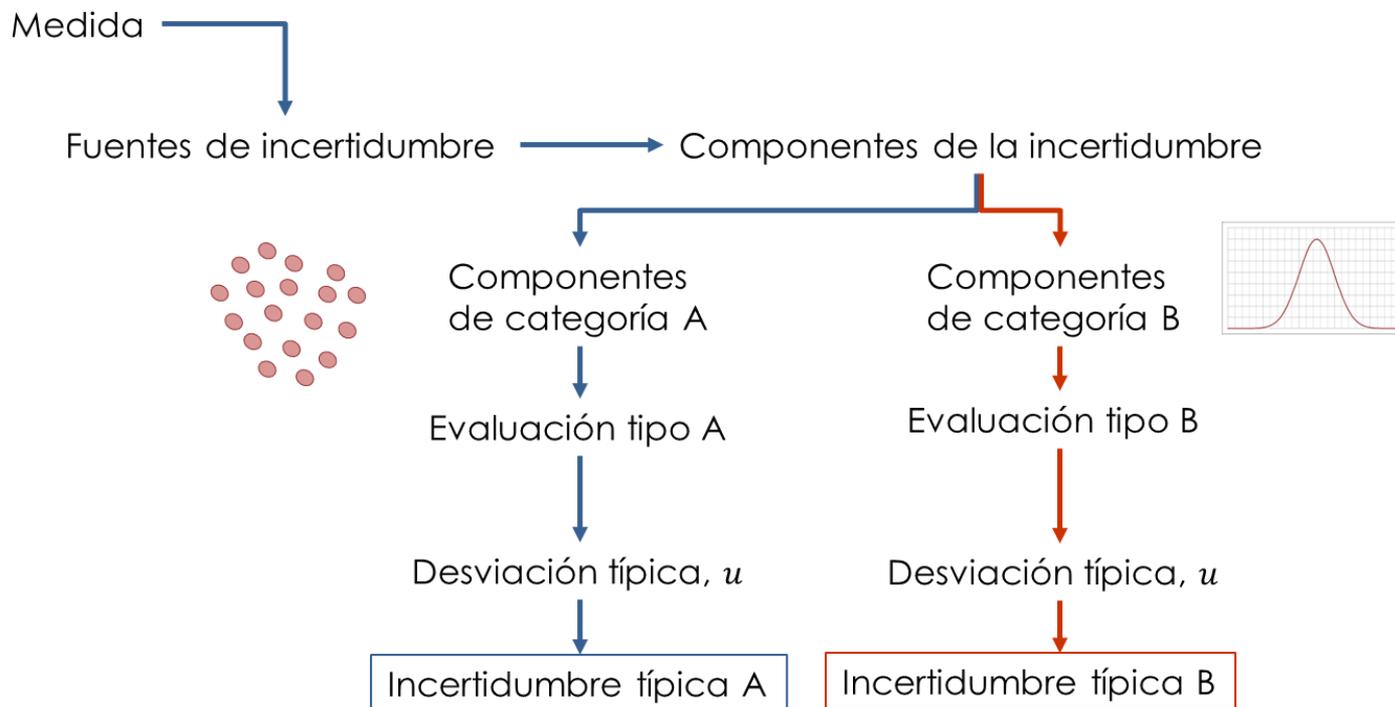
- Se puede calcular, a diferencia del error, que siempre es desconocido
- Se suele expresar en forma de:
 - Desviación típica [σ] o varianza [σ^2]
 - Semiamplitud de un Intervalo de confianza [$X \pm u$]

FUENTES DE INCERTIDUMBRE

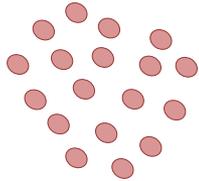
1. Definición incompleta de la magnitud a medir
2. Muestra no representativa
3. Conocimiento incompleto del efecto de las condiciones ambientales
4. Medición imperfecta de las condiciones ambientales
5. Lectura sesgada de los instrumentos por parte del operador
6. Resolución finita del instrumento de medida
7. Valores inexactos de los patrones de medida usados en la calibración
8. Valores inexactos de constantes y otros parámetros tomados de fuentes externas (p.ej. bibliografía)
9. Aproximaciones o hipótesis asumidas en el método de medida

Las equivocaciones de registro o análisis no están incluidas en la incertidumbre

Tipos de evaluación de la incertidumbre de medida



Estimación tipo A de la incertidumbre típica



La mejor estimación de la **esperanza** de una magnitud que varía aleatoriamente con valores q_k es la **media aritmética**

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^n q_k$$

La varianza experimental será

$$s^2(q_k) = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^n (q_k - \bar{q})^2$$

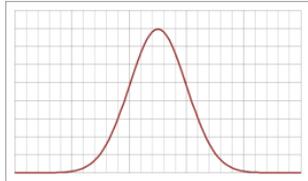
La mejor estimación de la **varianza de la media** será

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s^2(q_k)}{n}$$

La **incertidumbre** se define por la **desviación típica experimental**

$$u(q_k) = s(\bar{q}) = \frac{s(q_k)}{\sqrt{n}}$$

Estimación tipo B de la incertidumbre típica



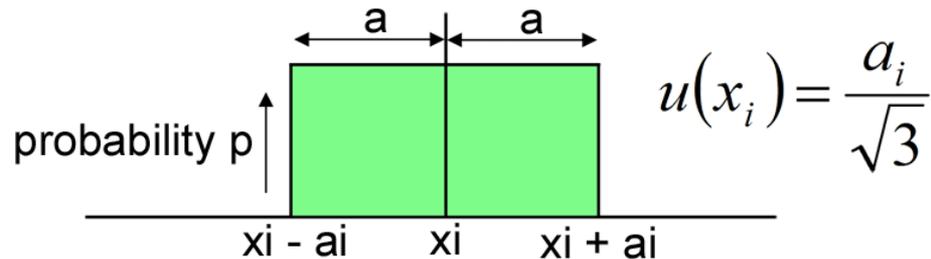
Se evalúa **a partir de la información disponible acerca de la variabilidad** de una componente de la incertidumbre:

- Documentación del fabricante del equipo
- Certificado de calibración (corrección e incertidumbre)
- Valores de manuales técnicos
- Estado del arte sobre propiedades de los materiales

Se basa en **distribuciones aleatorias supuestas a priori**

Estimación tipo B de la incertidumbre típica

Caso en que se comporte como una DISTRIBUCIÓN RECTANGULAR



APLICACIÓN TÍPICA:

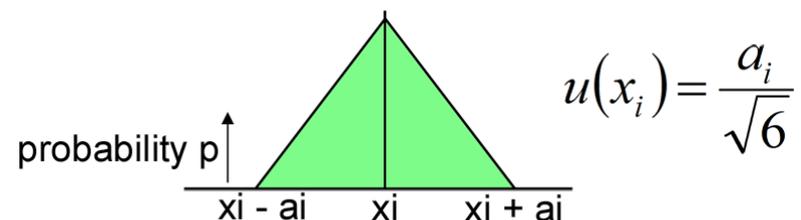
— Resolución de cualquier dispositivo de medida

Ejemplo: Balanza con display con cifra significativa más pequeña de 1g

$$u(x_i) = \frac{1/2}{\sqrt{3}} = 0,29g$$

Estimación tipo B de la incertidumbre típica

Caso en que se comporte como una DISTRIBUCIÓN TRIANGULAR



EJEMPLO:

— Probeta graduada de 100 ml, donde es mucho más probable valores próximos a 10,0 ml que a otros como 9,7 y 10,3.

$$u(x_i) = \frac{0,3}{\sqrt{6}} = 0,12ml$$

Incertidumbre combinada

Cuando se tiene:

- a) una medida indirecta
- b) varias fuentes de incertidumbre

$$X_1: \bar{x}_1 \pm u(x_1)$$

$$X_1: \bar{x}_2 \pm u(x_2)$$

$$X_1: \bar{x}_3 \pm u(x_3)$$

$$X_1: \bar{x}_n \pm u(x_n)$$

$$Y: y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

Ley de propagación de varianzas

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

Incertidumbre combinada

Ley de propagación de incertidumbres

Expresión general:

$$u^2(y) = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 \cdot u(x_i)^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j} \right)^2 + \frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial^3 f}{\partial x_i \partial x_j^2} \right] \cdot u^2(x_i) \cdot u^2(x_j)$$

0

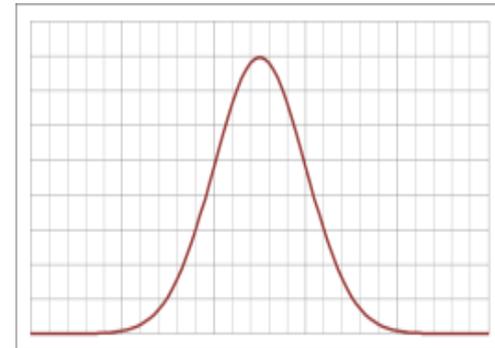
Expresión cuando los factores son independientes

$$u^2(y) = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 \cdot u(x_i)^2$$

Incertidumbre expandida

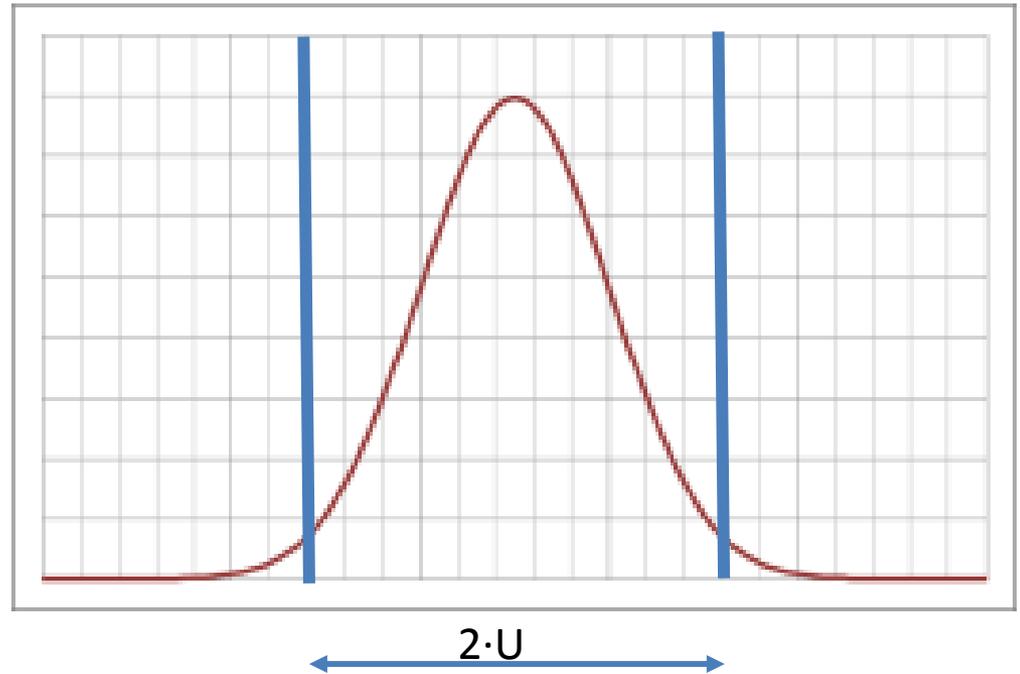
$$\left[\begin{array}{c} \text{Rectangular distribution} \\ \text{Triangular distribution} \\ \text{Normal distribution} \end{array} \right]^2 + \left[\begin{array}{c} \text{Triangular distribution} \\ \text{Normal distribution} \end{array} \right]^2 + \left[\begin{array}{c} \text{Normal distribution} \end{array} \right]^2$$

La suma cuadrática se comporta como una distribución normal



Incertidumbre expandida

Es el **valor del intervalo** donde, con un cierto nivel de confianza, se encuentra el verdadero valor de la magnitud



$$U(y) = k \cdot u(y)$$

- a) Magnitud sigue distribución normal . $k = 2$
- b) Magnitud no sigue distribución normal: Ec. De Welch-Satterthwaite

ν_{ef}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	∞
k	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,28	2,13	2,05	2,00

Incertidumbre expandida

Suponiendo distribución normal

$$k = 2 \quad U(y) = k \cdot u(y) = 2 \cdot 1,75 = 3,50s$$

Otros casos

$$u(y) = 1,75s \quad v_{ef} = 9,63 \quad k = 2,28$$

$$u_{repetibilidad}(y) = 1,72s$$

$$u_{resolución}(y) = 0,03s$$

$$u_{calibración}(y) = 0,34s$$

$$N = 10 \Rightarrow \nu = 9$$

$$v_{ef} = \frac{u^4(y)}{\sum_{m=1}^M \frac{u_m^2(y)}{\nu_m}}$$

$$U(y) = k \cdot u(y) = 2,28 \cdot 1,75 = 3,99s$$

Resumen de la metodología

1. Definir la magnitud a medir
2. Definir el modelo matemático
3. Identificar fuentes de incertidumbre
4. Clasificar las fuentes de incertidumbre (Tipo A o Tipo B)
5. Obtención de la incertidumbre típica para cada fuente
6. Estimar las correlaciones
7. Calcular incertidumbre combinada
8. Elegir nivel de confianza
9. Determinar factor de cobertura k y, en su caso, grados de libertad
10. Calcular incertidumbre expandida

Muchas gracias