



POLITÉCNICA
"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
**E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial**

escuela técnica superior de
ingeniería
y **d**iseño
industrial

Conceptos básicos de metrología



Medición

- **Objetivo de una medición:**

- Determinar el valor de un mensurando
- Valor de la magnitud particular bajo medición

- **Una medición debe contemplar:**

- Definición del mensurando → Descripción incompleta
- Método de medida
- Procedimiento de medida

- **Métodos de medida:**

- Diferencial (por comparación)
- Directo o indirecto



Definición

2.1 (2.1)

medición, f

medida, f

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

NOTA 1: Las mediciones no son de aplicación a las **propiedades cualitativas**.

NOTA 2: Una medición supone una comparación de magnitudes o el conteo de entidades.

NOTA 3: Una medición supone una descripción de la magnitud compatible con el uso previsto de un **resultado de medida**, un **procedimiento de medida** y un **sistema de medida** calibrado conforme a un procedimiento de medida especificado, incluyendo las condiciones de medida.



Definición

2.3 (2.6)

mensurando, m

magnitud que se desea medir

NOTA 1: La especificación de un mensurando requiere el conocimiento de la **naturaleza de la magnitud** y la descripción del estado del fenómeno, cuerpo o sustancia cuya magnitud es una propiedad, incluyendo las componentes pertinentes y las entidades químicas involucradas.

NOTA 2: En la segunda edición del VIM y en IEC 60050-300:2001, el mensurando está definido como "magnitud particular sujeta a medición".

NOTA 3: La **medición**, incluyendo el **sistema de medida** y las condiciones bajo las cuales se realiza ésta, podría alterar el fenómeno, cuerpo o sustancia, de tal forma que la magnitud bajo medición difiriera del mensurando. En este caso sería necesario efectuar la **corrección** apropiada.



Definición

2.3 (2.6)

mensurando, m

EJEMPLO 1: La diferencia de potencial entre los terminales de una batería puede disminuir cuando se utiliza un voltímetro con una conductancia interna significativa. La diferencia de potencial en circuito abierto puede calcularse a partir de las resistencias internas de la batería y del voltímetro.

EJEMPLO 2: La longitud de una varilla cilíndrica de acero en equilibrio térmico a una temperatura ambiente de 23 °C será diferente de su longitud a la temperatura de 20 °C, para la cual se define el mensurando. En este caso, es necesaria una corrección.

NOTA 4: En química, la "sustancia a analizar", el "analito", o el nombre de la sustancia o compuesto, se emplean algunas veces en lugar de "mensurando". Esta práctica es errónea debido a que estos términos no se refieren a magnitudes.



Medición

• Resultado de una medición:

- Es sólo una aproximación o estimación
- Sólo se halla completo cuando esta acompañado de una declaración acerca de su incertidumbre
- Determinado a partir de una serie de observaciones obtenidas en condiciones de repetibilidad
- Variación entre observaciones repetidas → debida a las magnitudes de influencia



POLITÉCNICA
"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial

escuela técnica superior de
ingeniería
y diseño
industrial

Definición

2.20 (3.6, notas 1 y 2)

condición de repetibilidad de una medición, f

condición de repetibilidad, f

condición de **medición**, dentro de un conjunto de condiciones que incluye el mismo **procedimiento de medida**, los mismos operadores, el mismo **sistema de medida**, las mismas condiciones de operación y el mismo lugar, así como mediciones repetidas del mismo objeto o de un objeto similar en un periodo corto de tiempo



POLITÉCNICA
"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial

escuela técnica superior de
ingeniería
y diseño
industrial

Definición

2.52 (2.7)

magnitud de influencia, f

magnitud que, en una **medición** directa, no afecta a la magnitud que realmente se está midiendo, pero sí afecta a la relación entre la **indicación** y el **resultado de medida**

EJEMPLO 1: Densidad de un cuerpo

EJEMPLO 2: Resistencia eléctrica de un conductor

EJEMPLO 3: Longitud de onda de un láser λ

NOTA 1: Una medición indirecta conlleva una combinación de mediciones directas, cada una de las cuales puede estar a su vez afectada por magnitudes de influencia.



POLITÉCNICA
"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial

escuela técnica superior de
ingeniería
y diseño
industrial

Condiciones de referencia

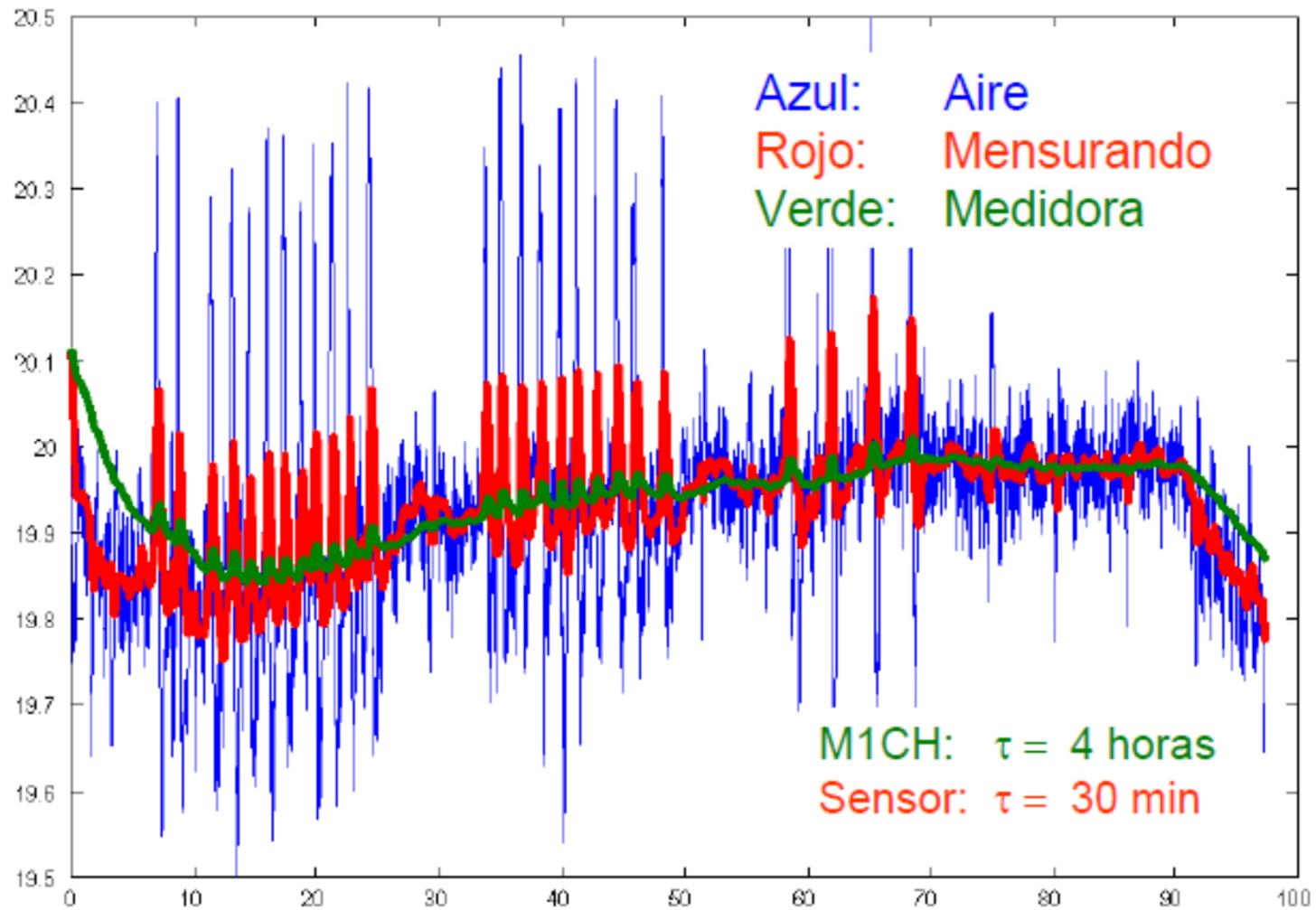
- Las condiciones de referencia especifican intervalos de **valores** del **mensurando** y de las **magnitudes de influencia**.
- Permiten evaluar las prestaciones de un **instrumento** o **sistema de medida** o para comparar **resultados de medida**

EJEMPLO: Las medidas eléctricas deben referirse a 23 °C

- **Magnitudes de influencia bajo control:**
 - Valores se encuentran en un intervalo alrededor del de referencia
 - Valores no tienen por que ser constantes ni el espacio ni el tiempo

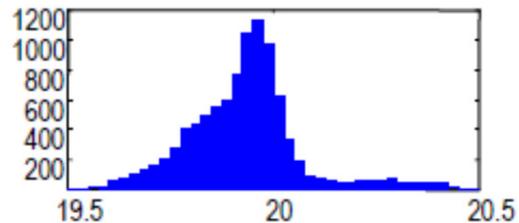


Condiciones de referencia



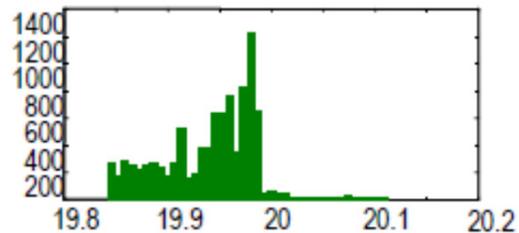


Condiciones de referencia



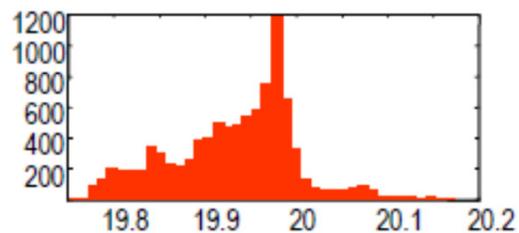
Temperatura Ambiente

Media: 19,930 °C
Desviación Típica: 0,141 °C



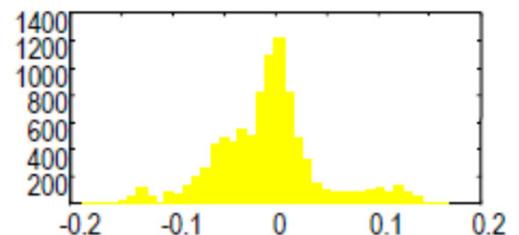
Temperatura Medidora ($\tau = 4$ horas)

Media: 19,940 °C
Desviación Típica: 0,046 °C



Temperatura Mensurando ($\tau = 30$ min)

Media: 19,932 °C
Desviación Típica: 0,069 °C



Diferencia Media Mensurando - Medidora

Media: -0,008 °C
Desviación Típica: 0,053 °C



POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial

escuela técnica superior de
ingeniería
y diseño
industrial

Condiciones de referencia

- **Magnitudes que fluctúan a lo largo del espacio:**

- Temperatura
- Presión
- Humedad Relativa
- Índice de Refracción

- **Magnitudes que fluctúan a lo largo del tiempo**

- Resistencia
- Corriente Eléctrica
- Temperatura
- Presión
- Humedad Relativa
- Índice de Refracción
- Frecuencia de un oscilador



Magnitudes de influencia (ejemplos)

- **Longitud varilla acero 1 m en $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$: el mensurando experimenta variaciones en $\pm 0,06$ mm.**
 - Apreciación en resultado (1 mm)
el efecto de la temperatura es despreciable.
 - Apreciación en resultado (0,01 mm)
se debe tener en cuenta la temperatura.

- **Masa acero de 1 kg se mide por comparación con otra patrón de 1kg en el aire. Diferentes densidades suponen empujes distintos.**
 - Apreciación en resultado (1 g)
Difer. de densidades » 10%, difer. de empujes despreciable.
 - Apreciación en resultado (1 mg)
Difer. de densidades » 10%, no pueden ignorarse empujes.



POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial

escuela técnica superior de
ingeniería
y diseño
industrial

Modelo matemático de la medición (función de medición)

- **Debe:**

- Transformar la serie de observaciones repetidas en el resultado de medida

- **Incluye:**

- Observaciones (variaciones)
- Magnitudes de influencia (no conocidas con exactitud)



Incertidumbre



Definición

2.49

función de medición, f

función de **magnitudes** cuyo valor es un **valor medido** de la **magnitud de salida** en el **modelo de medición**, cuando se calcula mediante los **valores** conocidos de las **magnitudes de entrada en el modelo de medición**

NOTA 1: Si el **modelo de medición** $h(y, x_1, \dots, x_n) = 0$ puede escribirse explícitamente como $y = f(x_1, \dots, x_n)$, siendo Y la magnitud de salida en el modelo de medición, f es la función de medición. En general, f puede representar un algoritmo que, para los valores de entrada x_1, \dots, x_n , da como resultado un valor único de la magnitud de salida $y = f(x_1, \dots, x_n)$.

NOTA 2: La función de medición se utiliza también para calcular la **incertidumbre de medida** asociada al valor medido de y .



Modelo de medición (GUM)

- Se relaciona funcionalmente con los resultados de otras medidas

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

- f puede no ser expresable analíticamente o no conocerse completamente.



Definición

2.48

modelo de medición, m

modelo, m

relación matemática entre todas las **magnitudes** conocidas que intervienen en una **medición**

NOTA 1: Una forma general del modelo de medición es la ecuación $h(y, x_1, \dots, x_n) = 0$ donde y , la **magnitud de salida del modelo de medición**, es el **mensurando**, cuyo **valor** debe deducirse a partir de la información sobre las **magnitudes de entrada en el modelo de medición** x_1, \dots, x_n .

NOTA 2: En casos más complejos, en los cuales existen dos o más magnitudes de salida en el modelo de medición, el modelo de medición comprende más de una ecuación.



Definición

2.50

magnitud de entrada en un modelo de medición, f

magnitud de entrada, f

magnitud que debe ser medida, o magnitud cuyo **valor** puede obtenerse de otra manera, para calcular un **valor medido** de un **mensurando**

EJEMPLO: Cuando el mensurando es la longitud de una varilla de acero, a una temperatura especificada, la temperatura real, la longitud a la temperatura real y el coeficiente de dilatación térmica lineal de la varilla son magnitudes de entrada en un modelo de medición.

NOTA 1: Frecuentemente, una magnitud de entrada en un modelo de medición, es una magnitud de salida de un **sistema de medida**.

NOTA 2: Las indicaciones, las correcciones y las **magnitudes de influencia** son magnitudes de entrada en un modelo de medición.



POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial

escuela técnica superior de
ingeniería
y diseño
industrial

Definición

2.51

magnitud de salida en un modelo de medición, f

magnitud de salida, f

magnitud cuyo valor medido se calcula mediante los valores de las magnitudes de entrada en un modelo de medición



POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial

escuela técnica superior de
ingeniería
y diseño
industrial

Errores, efectos y correcciones

- **En una medición:**
 - Imperfecciones → Error en el resultado de la medida
- **Los errores constan de dos componentes:**
 - Aleatorio
 - Sistemática



Errores, efectos y correcciones

• Error aleatorio

- Debido a: variaciones en las magnitudes de influencia
- Efecto: variaciones en las observaciones
- Imposible de compensar
- Esperanza matemática igual a cero

• Error sistemático

- Debido a: Efecto identificado de una magnitud de influencia
- Por lo tanto cuantificable
- No puede eliminarse → pero puede ser reducido
- Aplicación de corrección o factor de corrección
- Tras la corrección: Esperanza matemática igual a cero



POLITÉCNICA
"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
**E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial**

escuela técnica superior de
ingeniería
y **diseño**
industrial

Definición

2.53 (3.15) (3.16)

corrección, f

compensación de un efecto sistemático estimado

NOTA 1: Véase la Guía ISO/IEC 98-3:2008, 3.2.3, para una explicación del concepto de "efecto sistemático".

NOTA 2: La compensación puede tomar diferentes formas, tales como la adición de un valor o la multiplicación por un factor, o bien puede deducirse de una tabla.



POLITÉCNICA
"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial

escuela técnica superior de
ingeniería
y diseño
industrial

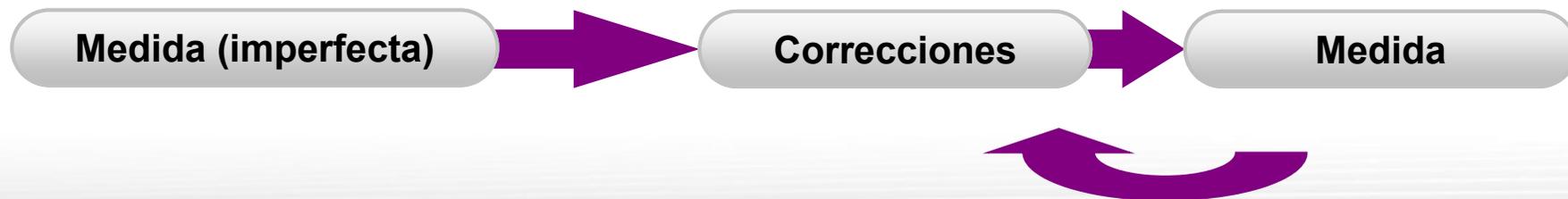
Corrección de las medidas

- Incrementan la complejidad del modelo de medición
- Supone efectuar medidas adicionales
- Ejemplo:
 - Lectura directa de un instrumento
 - Medida indirecta de un instrumento
 - Medición de la longitud de un Bloque Patrón Longitudinal



Incertidumbre

- La incertidumbre refleja la imposibilidad de conocer exactamente el valor del mensurando.
- El resultado de una medición tras la corrección de los errores sistemáticos es aún una estimación.
 - Efectos aleatorios
 - Corrección imperfecta del resultado por los efectos sistemáticos





POLITÉCNICA
"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial

escuela técnica superior de
ingeniería
y diseño
industrial

Valor "verdadero" y valor corregido

- Resultado corregido → Mejor estimación del valor verdadero
- Resultado de la medida corregida no es el valor del mensurando
 - Errores debidos a imperfecciones en la medición
 - Variaciones aleatorias de las observaciones
 - Determinación inadecuada de las correcciones
 - Conocimiento incompleto de ciertos fenómenos físicos



Definición

2.9 (3.1)

resultado de medida, m

resultado de una medición, m

conjunto de **valores de una magnitud** atribuidos a un **mensurando**,
acompañados de cualquier otra información relevante disponible

NOTA 1: Un resultado de medida contiene generalmente información relevante sobre el conjunto de valores de una magnitud. Algunos de ellos representan el mensurando mejor que otros. Esto puede representarse como una función de densidad de probabilidad (FDP).

NOTA 2: El resultado de una medición se expresa generalmente como un **valor medido** único y una **incertidumbre de medida**. Si la incertidumbre de medida se considera despreciable para un determinado fin, el resultado de medida puede expresarse como un único valor medido de la magnitud. En muchos campos ésta es la forma habitual de expresar el resultado de medida.



POLITÉCNICA
"Ingeniamos el futuro"

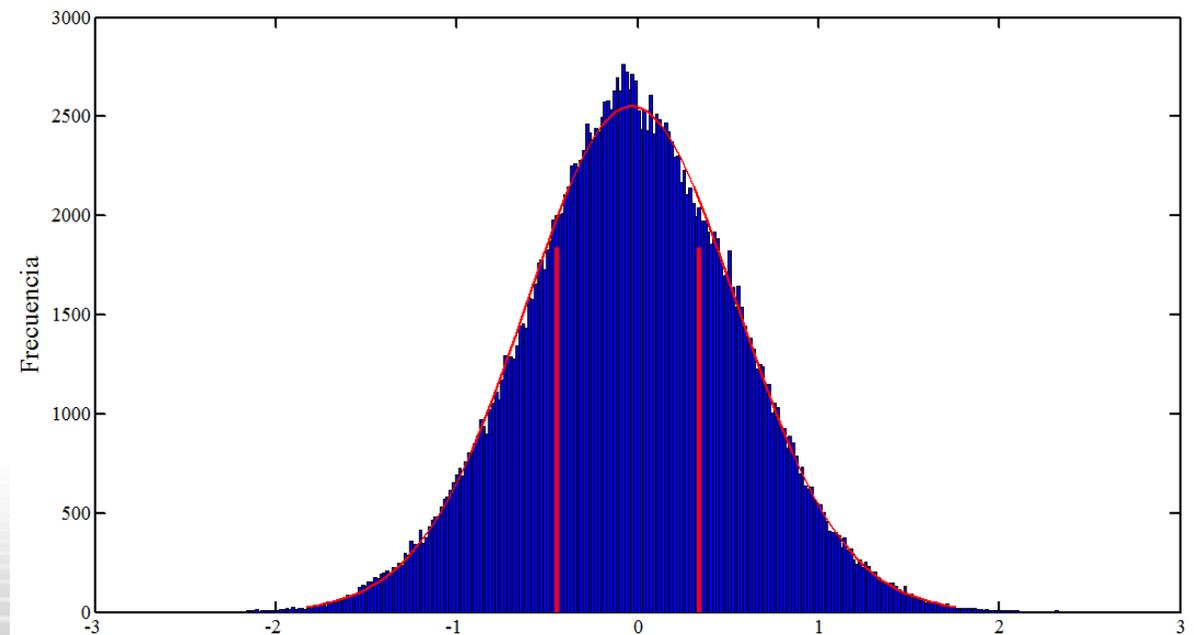
CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial

escuela técnica superior de
ingeniería
y diseño
industrial

Resultado de la medida

- Resultado de la medida es una variable aleatoria, definida por:
 - Parámetro de centrado
 - Parámetro de dispersión





Estimadores

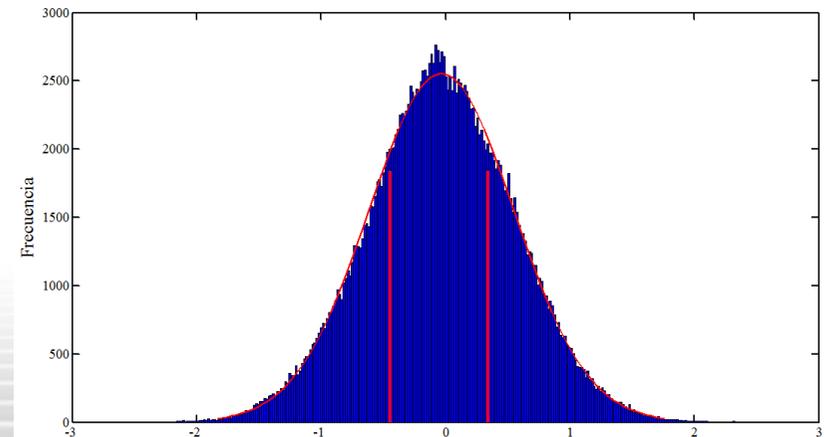
- Los estimadores más usados en metrología

- Media aritmética

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

- Varianza muestral

$$S^2(x_i) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2$$





POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

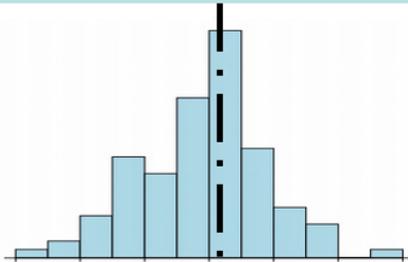
CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S. de Ingeniería
y Diseño Industrial

escuela técnica superior de
ingeniería
y diseño
industrial

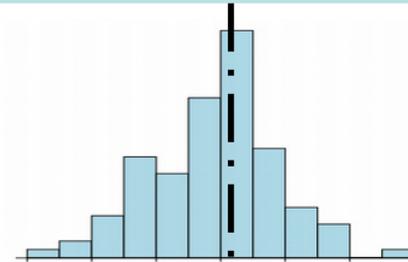
Valor "verdadero", error e incertidumbre

media aritmética de las
observaciones sin corregir



Incertidumbre típica
de la media sin
corregir, debida a la
dispersión de las
observaciones

media aritmética de las
observaciones corregida



Incertidumbre típica
combinada de la
media corregida,
debida a la
dispersión de las
observaciones
y a la incertidumbre
de la corrección
aplicada

Corrección por todos los efectos
sistemáticos conocidos



POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

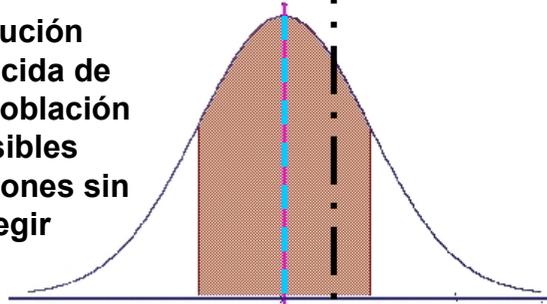
Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S. de Ingeniería y Diseño Industrial

escuela técnica superior de
ingeniería y diseño industrial

Valor "verdadero", error e incertidumbre

media aritmética de las observaciones sin corregir

Distribución desconocida de todas la población de posibles observaciones sin corregir

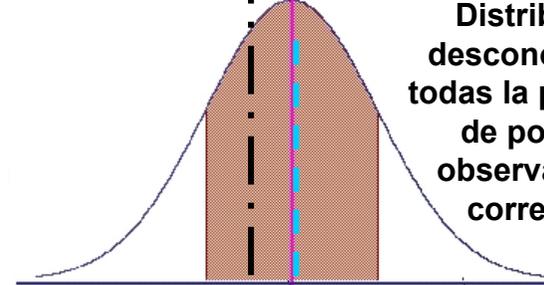


Esperanza matemática

Error aleatorio desconocido de la media de las observaciones sin corregir

media aritmética de las observaciones corregida

Distribución desconocida de todas la población de posibles observaciones corregidas



Error desconocido de la media debido al error aleatorio desconocido en la media sin corregir y a un error en la corrección aplicada

Error resultante desconocido de la media corregida debido a un efecto sistemático no reconocido

Error desconocido debido a todos los efectos sistemáticos conocidos

Valor del mensurando (desconocido)

