

Apuntes Medidas eléctricas

Bogurad Barański Barańska Adrián Teixeira de Uña

15 de febrero de 2024

1. Tema 1: Introducción y generalidades sobre metrología

1.1. Definiciones

1. **Magnitud:** Atributo de un cuerpo que se puede distinguir cualitativamente y determinado cuantitativamente.
2. **Magnitud básica:** Magnitud que se acepta como independiente.
3. **Magnitud derivada:** Se define en a través de las magnitudes básicas.
4. **Unidad de medida:** Magnitud adoptada por convenio con la que se comparan magnitudes de la misma naturaleza.
5. **Unidad coherente:** Unidad derivada expresada como producto de potencias de unidades básicas.
6. **Sistema de unidades:** Conjunto de unidades básicas y derivadas. Cabe destacar el Sistema Internacional de Unidades que es un sistema coherente de unidades adaptado por la Conferencia General de Pesas y Medidas.
7. **Valor de una magnitud:** Expresión cuantitativa de una magnitud. Se expresa como una unidad de medida multiplicada por un número.
8. **Valor verdadero:** Valor que se obtendría a través de una medición perfecta de una magnitud. Este valor nunca se puede determinar, todas las medidas introducen incertidumbre.
9. **Valor convencionalmente verdadero:** Valor más probable que toma una magnitud. Se debe acompañar con su incertidumbre. Normalmente se corresponde con la media.
10. **Medida:** Conjunto de operaciones para determinar el valor de una magnitud.
11. **Medición general:** Se determina el valor de una magnitud sobre la que se realiza alguna acción de control. Se realiza mediante aparatos convencionales.
12. **Medición metrológica:** Procedimiento plenamente especificado con el fin de calibrar o verificar un aparato. Se requieren aparatos patrones.
13. **Mensurando:** Magnitud sometida a medición.
14. **Magnitud de influencia:** Magnitudes que no son el objetivo de la medida pero alteran la medición.
15. **Señal de medida:** Magnitud que mantiene una relación funcional con el mensurando y lo representa.

16. **Cadena de medida**: Conjunto de instrumentos y personas que intervienen en una medición.
17. **Valor nominal**: Valor aproximado de una característica de un instrumento.
18. **Campo de medida (CM)**: Valor máximo que puede indicar un aparato.
19. **Rango de medida**: Intervalo en el que el error debido al instrumento de medida se mantiene en unos límites especificados.
20. **Constante de medida**: Número por el que debe multiplicarse la medida de un instrumento para obtener el valor del mensurando.

Normalmente en un aparato analógico:

$$k_m = \frac{CM}{Divisiones}$$

21. **Estabilidad**: Aptitud de un instrumento para mantener constantes sus características a lo largo del tiempo.
22. **Transparencia**: Aptitud de un instrumento para no alterar el mensurando.
23. **Deriva**: Variación lenta de una característica del instrumento por el paso del tiempo, mal uso o desgaste.
24. **Zona muerta**: Máxima variación de la señal de entrada sin que se perciba respuesta en la salida.
25. **Sensibilidad**: Variación de la salida ante un incremento de la entrada. No tienen porque ser siempre iguales.

$$S(x) = \frac{dx}{dy} = \frac{\Delta x}{\Delta y}$$

26. **Resolución**: Menor diferencia que puede apreciarse en un aparato de manera significativa.
 - En un aparato analógico suele tomarse como $E/2$ y como máximo $E/4$ donde E es una división de escala.
 - En un aparato digital se suele tomar su dígito menos significativo.



Figura 1: Comparativa de resoluciones

27. **Veracidad**: Concordancia entre la media de un conjunto de medidas y un valor de referencia. Normalmente se comprueba si un valor nominal es correcto.
28. **Precisión**: Capacidad de un instrumento para dar valores agrupados al repetir medidas.
29. **Exactitud**: Grado de concordancia entre un valor medido y el verdadero. Requiere veracidad y precisión.
30. **Sesgo**: Diferencia entre la media de las medidas y el valor de referencia.
31. **Linealidad**: Indica la evolución del sesgo a lo largo del campo de medida del aparato.

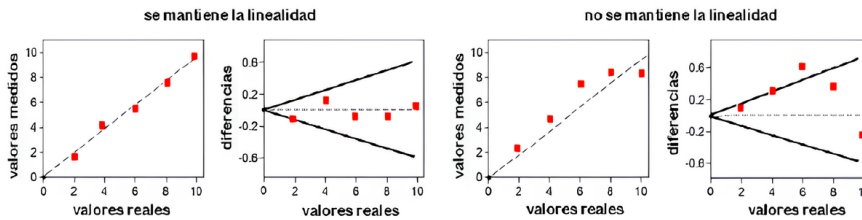


Figura 2: Comparativa de resoluciones

32. **Índice de clase**: Número que informa sobre la exactitud de un aparato según su calidad metrológica. El índice se define como:

$$C_A = \frac{100\alpha}{CM} \rightarrow \alpha = \text{Error absoluto máximo}$$

Como el índice solo da información del error absoluto, el punto donde se calcula es aquel en el que el error relativo es mínimo. Viéndolo gráficamente:

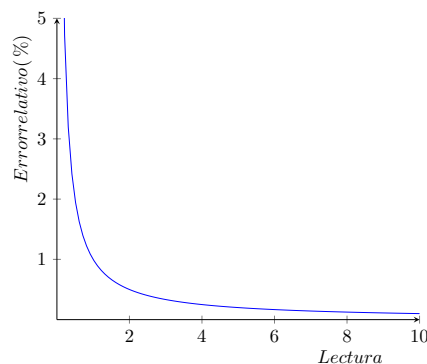


Figura 3: Gráfica del error del aparato a lo largo del campo de medida

Este índice sirve para evaluar la incertidumbre intrínseca de un instrumento de medida.

	Laboratorio	Uso industrial	Indicadores
C_A	0.05 - 0.1 - 0.2 - 0.5	1 - 1.5 - 2.5	5

Cuadro 1: Tabla de clases de aparatos

En aparatos digitales la clase también suele incluir un término proporcional a la lectura del aparato:

$$C_D = X \%CM + Y \%L$$

33. **Incertidumbre de medida:** Parámetro asociado al resultado de una medición. Caracteriza la dispersión de los valores. Se expresa acompañando a la medida mediante la incertidumbre expandida (normalmente $k=2$).

$$U(x) = ku(X)$$

- $U(x) \rightarrow$ Incertidumbre expandida
- $k \rightarrow$ Factor de cobertura. Mide el nivel de confianza sobre el mensurando.

k	1	2	3	4	5
Porcentaje datos	68.27 %	95.45 %	99.73 %	99.994 %	99.99994 %

Cuadro 2: Tabla de intervalos cobertura

- $u(X) \rightarrow$ Incertidumbre sin expandir.

Normalmente la incertidumbre es el resultado de combinar diferentes componentes y se emplea para comparar la calidad de las medidas.

34. **Error de medida :** Diferencia entre el resultado de una medición y el valor real del mensurando.
35. **Error aleatorio:** Diferencia entre el resultado de una medición y la media de infinitas medidas en condiciones de repetibilidad.
Para minimizar este error se deben emplear múltiples medidas y utilizar la media aritmética como estimador de la medición.
36. **Error sistemático:** Diferencia entre la media de infinitas medidas realizadas en condiciones de repetibilidad y el valor verdadero del mensurando. Si se conoce la causa del error puede eliminarse aplicando correcciones.

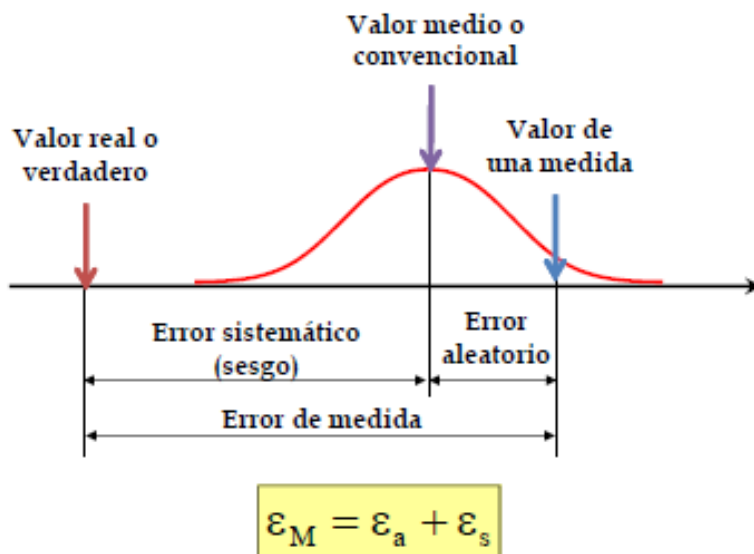


Figura 4: Errores representados gráficamente

37. **Tolerancia:** Intervalo de valores dentro del cual debe situarse el valor real de una magnitud para que se acepte como válida. Es un indicador de un elemento. Si el límite inferior LSE y superior LIE se encuentran equidistantes al valor nominal.

$$T = \pm \frac{LSE - LIE}{2}$$

1.2. Ley propagación de incertidumbres

1. Medidas independientes: Las variables x_i son independientes entre sí:

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

$$u_y^2 = \left(\frac{\partial y}{\partial x_1} u_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} u_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} u_i \right)^2$$

Tras hallar la incertidumbre a través de las incertidumbres sin expandir se expande mediante k.

2. Medidas correlacionadas: Cuando algunas variables están ligadas entre sí:

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

$$u_y^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} u_i \right)^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j>i}^n \frac{\partial y}{\partial x_i} \frac{\partial y}{\partial x_j} r_{ij} u_i u_j$$

Donde r_{ij} son los coeficientes de correlación entre las variables.

3. Mediante errores porcentuales:

■ Producto de variables:

$$y = x_1 x_2$$

• Sin correlación:

$$u_y^2 = (x_2 u_1)^2 + (x_1 u_2)^2$$

Dividiendo por: $(x_1 x_2)^2$

$$u_{y(pu)}^2 = u_{1(pu)}^2 + u_{2(pu)}^2$$

• Con correlación:

$$u_{y(pu)}^2 = u_{1(pu)}^2 + u_{2(pu)}^2 + 2r u_{1(pu)} u_{2(pu)}$$

■ Cociente de variables:

$$y = \frac{x_1}{x_2}$$

• Sin correlación:

$$u_y^2 = \left(\frac{u_1}{x_2} \right)^2 + \left(\frac{x_1 u_2}{x_2^2} \right)^2$$

Dividiendo por: $\left(\frac{x_1}{x_2} \right)^2$

$$u_{y(pu)}^2 = u_{1(pu)}^2 + u_{2(pu)}^2$$

• Con correlación:

$$u_{y(pu)}^2 = u_{1(pu)}^2 + u_{2(pu)}^2 - 2r u_{1(pu)} u_{2(pu)}$$

■ Potencia de una variable:

$$y = x^n$$

• Sin correlación:

$$u_y = n x^{n-1} u_x$$

Dividiendo por: x^n

$$u_{y(pu)} = n u_{1(pu)}$$

Este método, se emplea para evitar el cálculo de derivadas parciales y se aplican combinados.

1.3. Estimación de la incertidumbre

1. Incertidumbres de tipo A: Se basan en datos de resultados experimentales. Se obtiene la media y la incertidumbre a partir de las medidas. La incertidumbre es la desviación típica de la media:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}$$

$$\hat{s} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

- Medidas independientes:

$$u_A^2(\bar{x}) = \frac{\hat{s}^2}{n} \rightarrow u_A(\bar{x}) = \frac{\hat{s}}{\sqrt{n}}$$

- Medidas dependientes:

$$u_A^2(\bar{x}) = \frac{\hat{s}^2}{n} + r \left(\frac{n-1}{n} \right) \hat{s}^2$$

2. Incertidumbres de tipo B: Se basan en datos de mediciones anteriores. Se suele estimar en base al alcance de la medida y al tipo de distribución. Requieren el conocimiento del aparato de medida.

El valor de α se corresponde con el error absoluto máximo de la clase del aparato

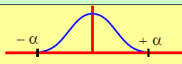

Distribución	Incertidumbre	
Normal (menos común)		$u_B = \frac{\alpha}{3}$
Rectangular (más general)		$u_B = \frac{\alpha}{\sqrt{3}}$

Figura 5: Incertidumbre según la distribución

1.4. Relación tolerancia incertidumbre

Las tolerancias son la base del principio de intercambiabilidad. Para ello, es necesario medir y así saber si una magnitud está en tolerancia. No obstante, si la incertidumbre es incorrecta puede dar lugar a fallos ocultos o falsos fallos.

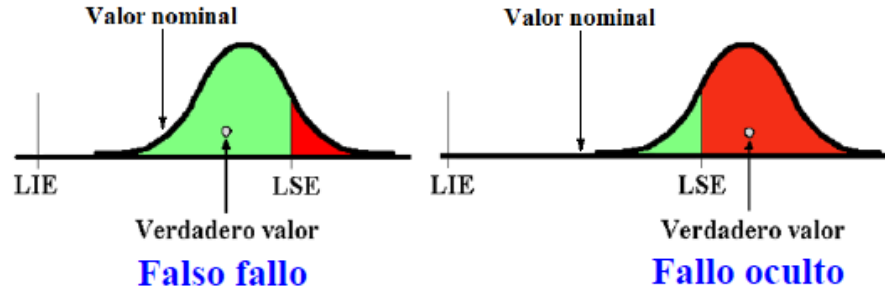


Figura 6: Problemas relación tolerancia incertidumbre

En la práctica se opta por rechazar cualquier mensurando que este fuera de la tolerancia efectiva:

$$T_{eff} = T - 2U$$

Si T está centrada, suele considerarse admisible mantener:

$$3 \leq \frac{T}{U} \leq 10$$

Si T no está centrada, entonces:

$$3 \leq \frac{T}{2U} \leq 10$$

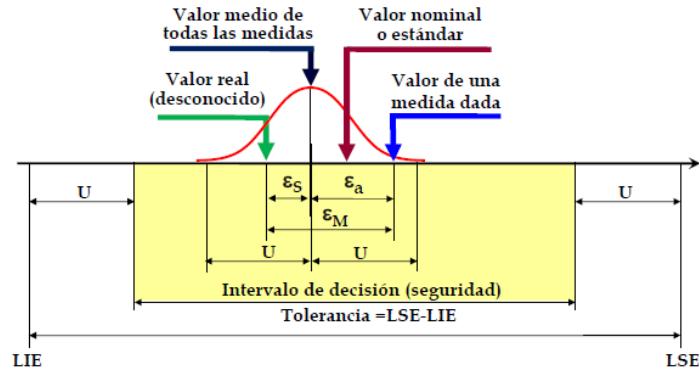


Figura 7: Problemas relación tolerancia incertidumbre

1.5. Resumen magnitudes estudiadas en el bloque

Si existe demasiada resolución las lecturas pueden tener más cifras significativas de las necesaria. No obstante, con poca resolución las variación no serán apreciables.

1. Aparatos analógicos

$$0,5 \leq \frac{U(k \geq 2)}{E} \leq 10$$

2. Aparatos digitales

$$0,5 \leq \frac{U}{E} = \frac{\alpha}{dms}$$

Donde dms es el dígito menos significativo.

1.6. Reglas redondeo

1. Si la última cifra es menor a 5 se redondea por defecto.
2. Si la última cifra es mayor a 5 se redondea por exceso.
3. Si la última cifra es 5.
 - a) Si la cifra anterior es par se redondea por defecto.
 - b) Si la cifra anterior es impar se redondea por exceso.

2. Tema 2: Verificación de equipos de medida eléctricos

2.1. Definiciones

1. Patrón:
2. Patrón primario:
3. Patrón secundario:
4. Patrón industrial:
5. Trazabilidad:
6. Calibración:
7. Verificación:

2.2. Cualidades de los aparatos de medida patrones

2.3. Verificación de un aparato de medida

2.4. Criterio de rechazo de Chauvenet

2.5. Resultados de una verificación

2.6. Incertidumbre de contrastante

2.7. “Clase” de un aparato verificado