

# Taller : Técnicas de calibración de multímetros de 6 ½ dígitos, en tensión y corriente eléctrica alterna

Sara Campos  
CENAM /División de Mediciones Electromagnéticas

# Contenido

- Conceptos teóricos
- Prácticas
  - Calibración de un multímetro de 6 ½ dígitos
  - Análisis de resultados
  - Reporte de resultados

## Objetivo

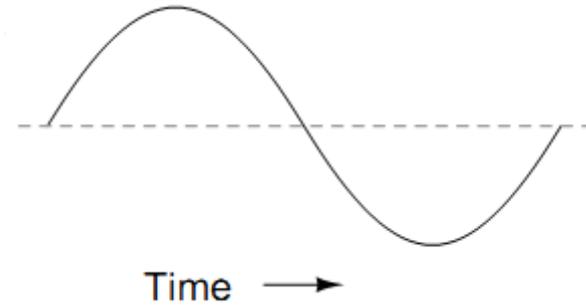
Que el participante interactué con los equipos de medición, que conozca el método de calibración más apropiado para el instrumento a calibrar, y cómo se lleva a cabo un proceso de calibración, desde la toma de mediciones hasta el reporte de los resultados, para que aplique este conocimiento en los servicios de calibración que ofrece.

## Requisitos

Se requiere que los participantes traigan una calculadora científica y que tengan conocimientos generales de estimación de incertidumbre en las mediciones.

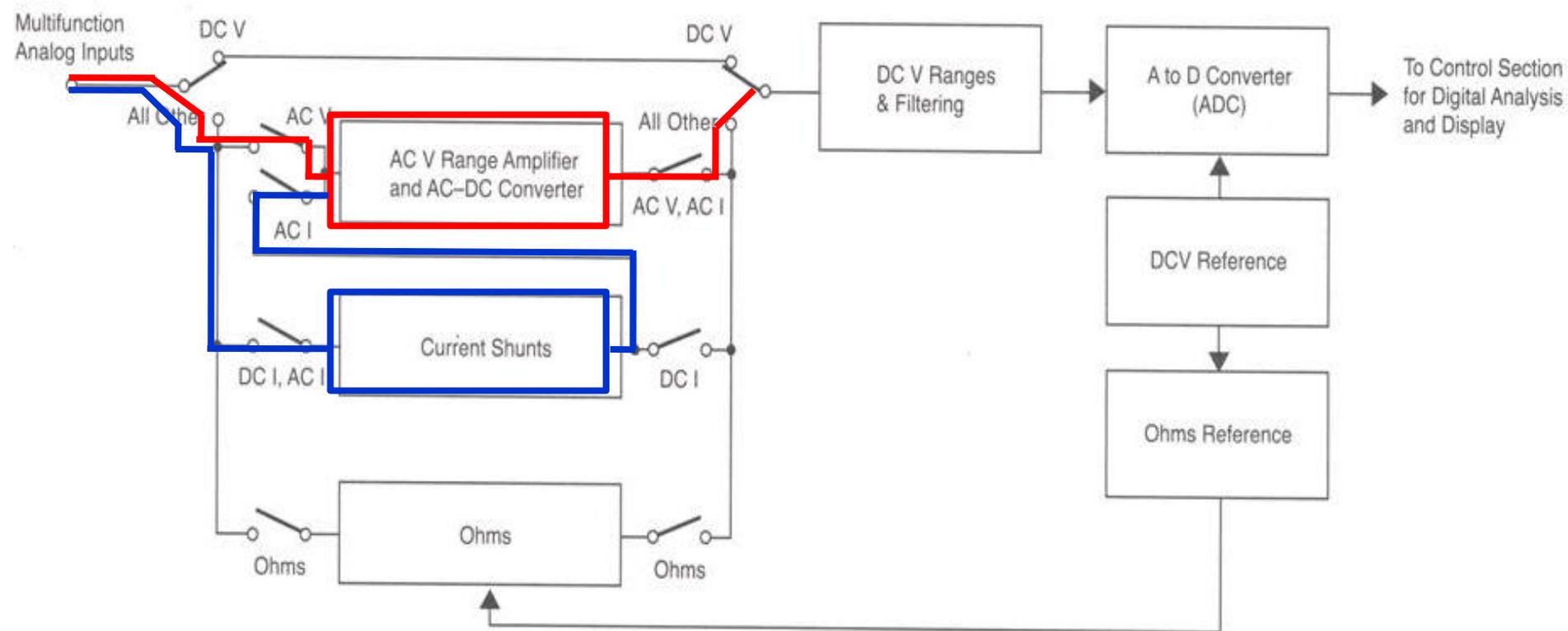
## Valor eficaz

El valor eficaz o raíz cuadrático medio (rms) es un parámetro importante para la descripción de una señal eléctrica alterna. Este valor permite evaluar el contenido de energía de la señal independientemente de su forma de onda.



$$V_{\text{eficaz}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v(t)^2 dt}$$

La mayoría de los medidores de señales alternas están diseñados para calcular y exhibir valores rms.

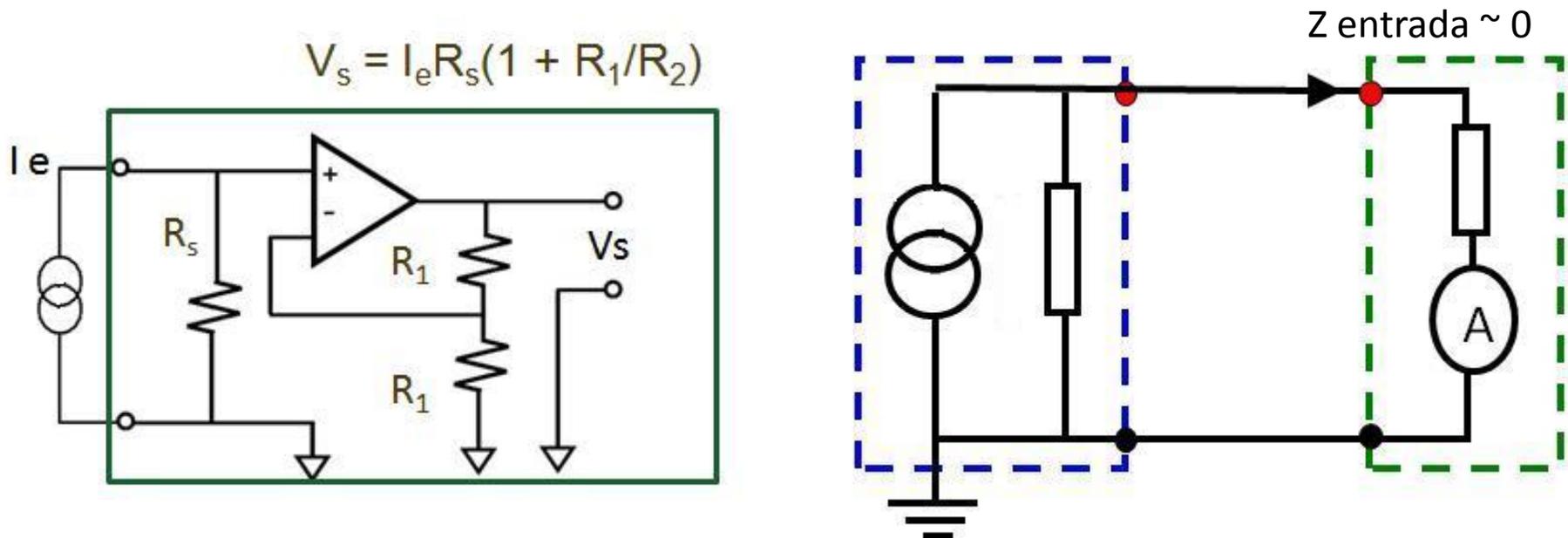


*Fluke: Calibration. Philosophy in Practice*

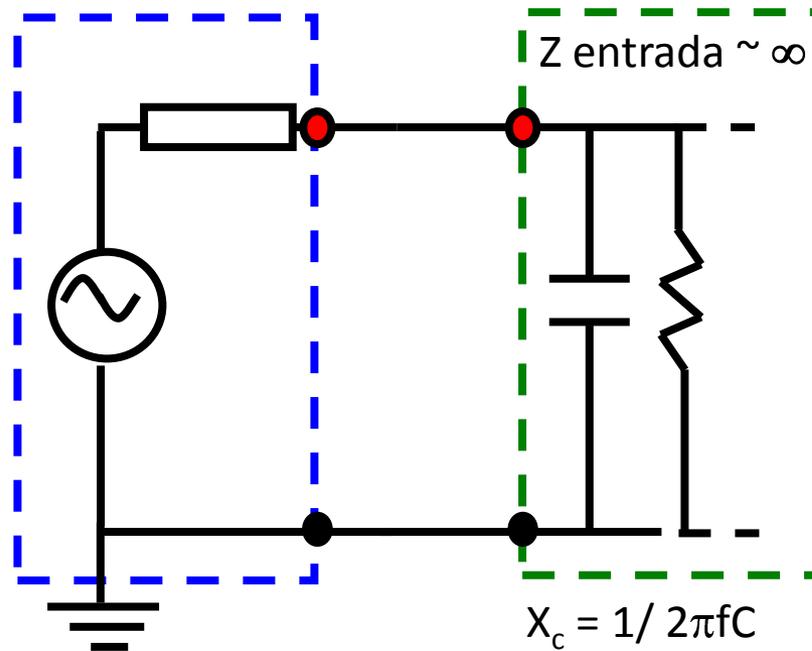
Multimeter type	Response to sine wave	Response to square wave	Response to single phase diode rectifier	Response to 3 Δ phase diode rectifier
Average responding	Correct	10 % high	40 % low	5 % to 30 % low
True-rms	Correct	Correct	Correct	Correct

*Fluke. Application Note. Why true-rms?*

En los multímetros la corriente es aplicada a un derivador de corriente y la sección de tensión eléctrica mide la caída de tensión en las terminales del mismo.



Esta tensión de carga introduce un error causado por la caída de tensión en el derivador del ampérmetro, la tensión de carga es mayor en corriente alterna que en corriente continua debido a las inductancias en serie del ampérmetro, por lo que la tensión de carga se incrementa conforme aumenta la frecuencia.

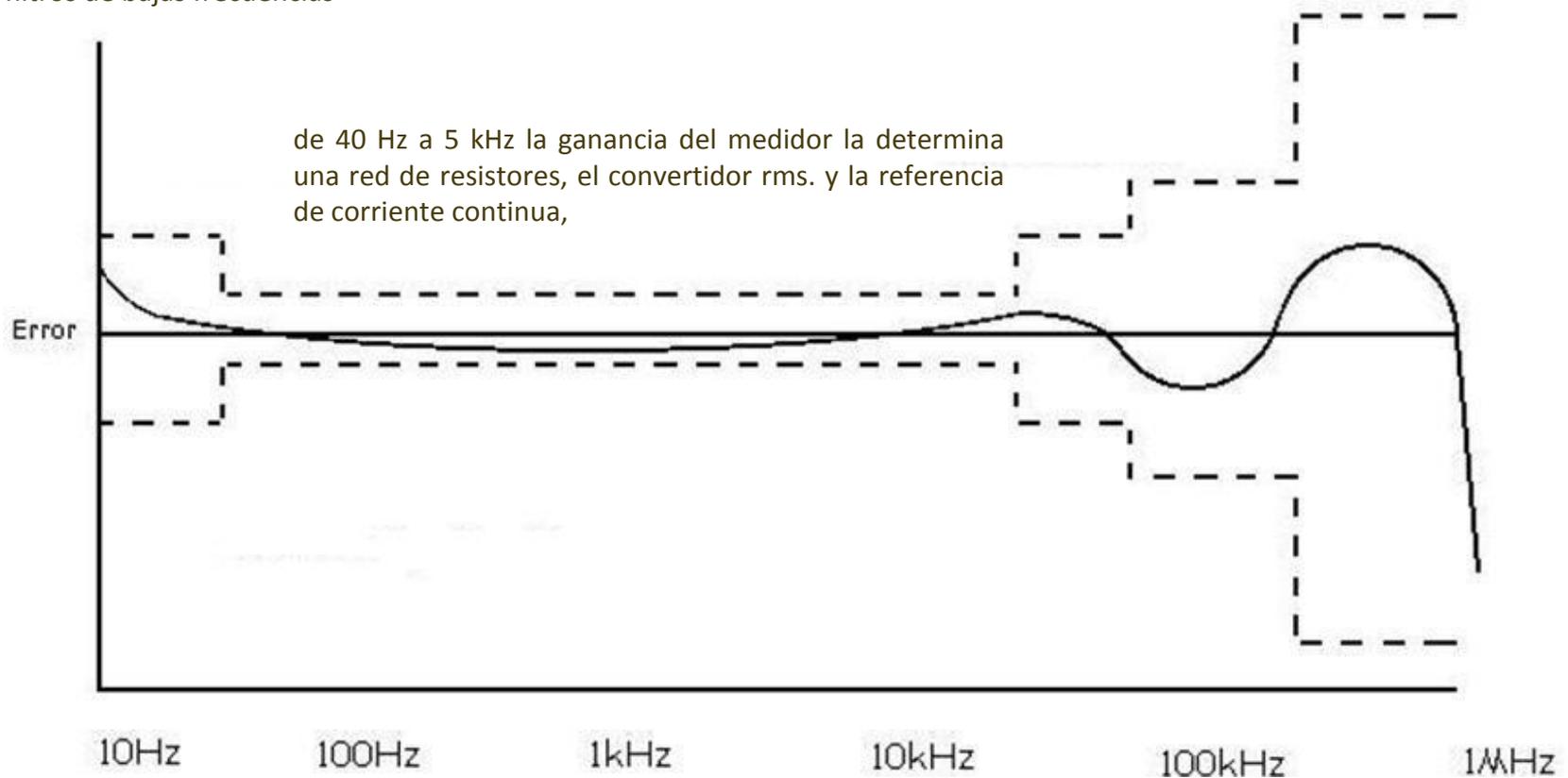


Un multímetro en la magnitud de tensión eléctrica alterna tiene típicamente una impedancia de entrada de  $1 \text{ M}\Omega$  en paralelo con  $\sim 100 \text{ pF}$ . Ya que la reactancia capacitiva es función de la frecuencia, al aumentar la frecuencia la reactancia capacitiva disminuye, provocando un incremento en la circulación de corriente hacia el medidor.

# Respuesta en frecuencia

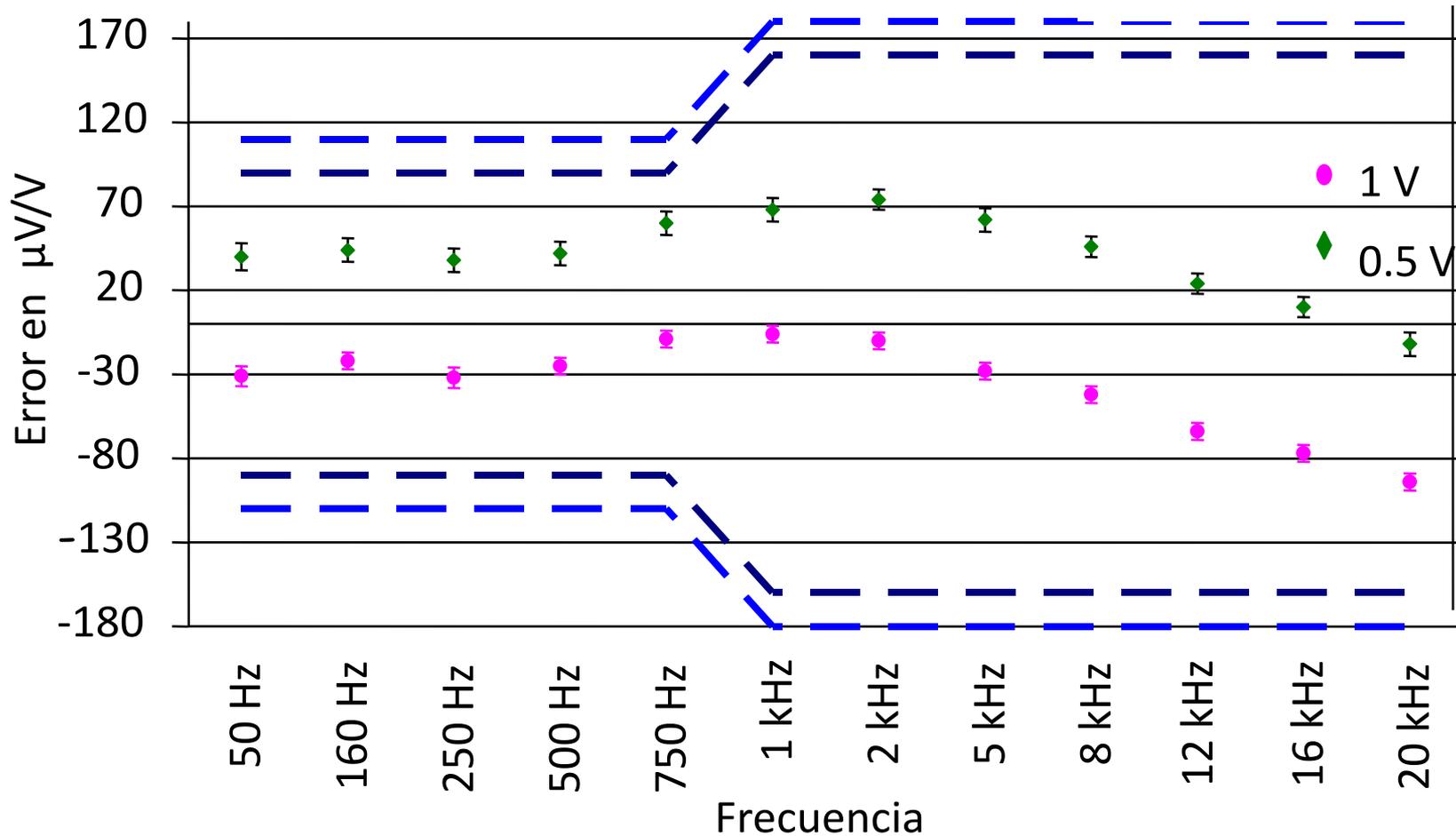
Influencia de la respuesta de los filtros de bajas frecuencias

a frecuencias más altas, efectos reactivos, principalmente capacitivos, determinan la planicidad del medidor

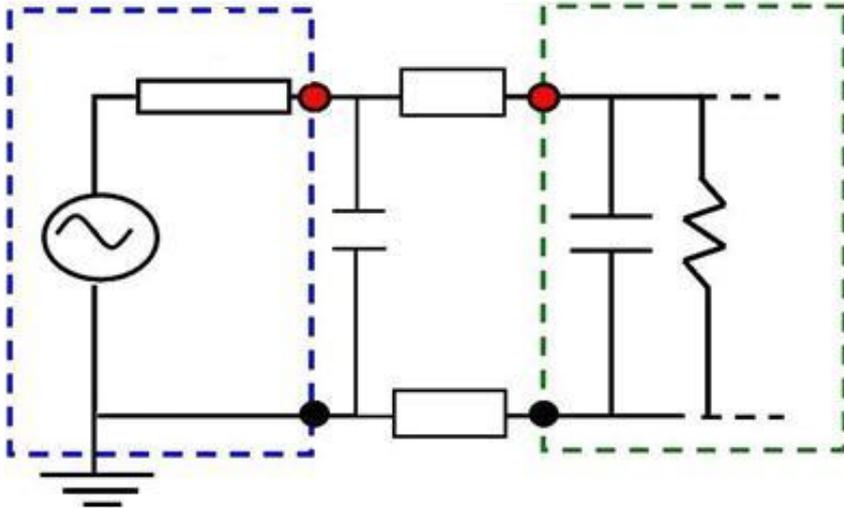


*"A Generic DMM Test and Calibration Strategy". Fluke Application Note.*

# Ejemplo de respuesta en frecuencia y linealidad de un medidor de tensión eléctrica alterna



## Efectos de las conexiones



f(kHz)	Impedancia de acuerdo a la capacitancia de los cables		
	4 pF	65 pF	160 pF
0.1	400 MΩ	20 MΩ	10 MΩ
1	40 MΩ	2 MΩ	1 MΩ
10	4 MΩ	200 kΩ	100 kΩ
100	400 kΩ	20 kΩ	10 kΩ
1000	40 kΩ	2 kΩ	1 kΩ

La capacitancia de los cables crea efectos de derivación de corriente y su impedancia una caída de tensión.

En cualquier caso y particularmente a alta frecuencia se debe reducir la longitud de los cables.

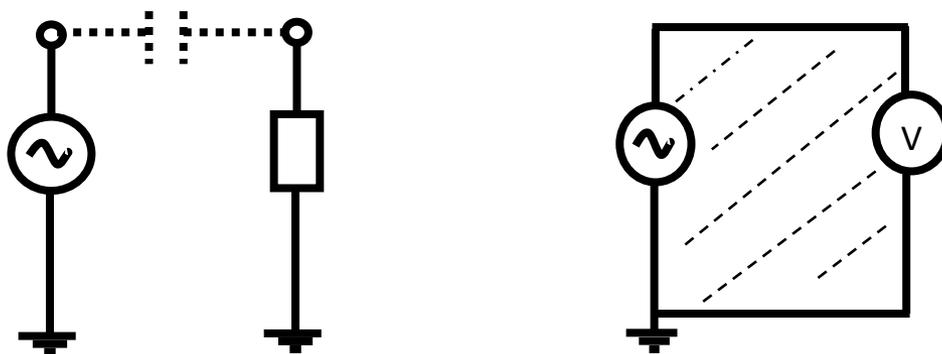
## Ejemplo: Resultados con diferentes longitudes y tipos de cables:

Punto de medición	Mediciones con Cable coaxial largo ( mV)	Mediciones con Cable coaxial corto (mV)	Mediciones con cable banana largo (mV)	Diferencia entre coaxial largo y corto ( $\mu\text{V/V}$ )	Diferencia entre banana sin trenzar y coaxial corto ( $\mu\text{V/V}$ )
100 mV/ 50 Hz	99. 994 8	99. 994 3	99. 995 4	<b>5</b>	<b>11</b>
100 mV/ 1 kHz	99. 995 9	99. 996 2	99. 996 4	<b>-3</b>	<b>1</b>
100 mV/10 kHz	99. 996 7	99. 996 7	99. 997 6	<b>0</b>	<b>9</b>
100 mV/100 kHz	99. 958 6	99. 962 1	99. 971 3	<b>-35</b>	<b>93</b>
100 mV/ 500 kHz	99. 739 2	99. 753 4	99. 984 6	<b>-142</b>	<b>2318</b>

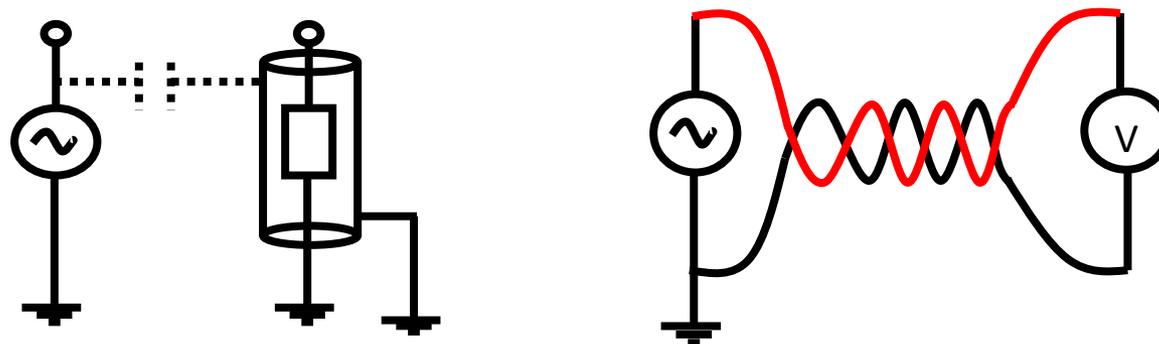
Para las conexiones de corriente es importante:

- Utilizar cables del calibre adecuado
- Trenzar los cables



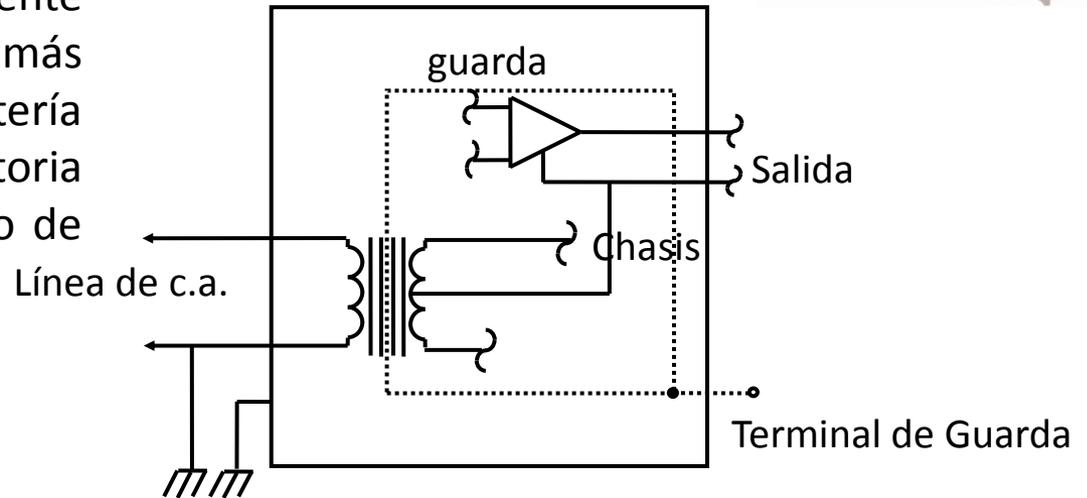


Los métodos principales para minimizar el ruido acoplado son :

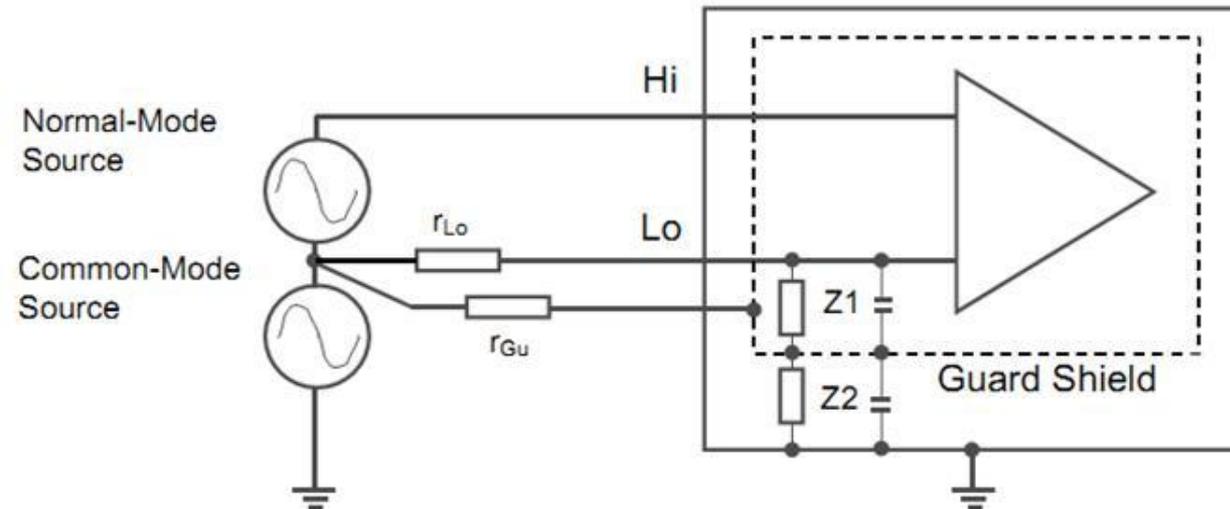


- Uso de Blindaje
- Uso de Guardas
- Selección de cables adecuados

La guarda de un instrumento es un blindaje que encierra la circuitería del instrumento y que está eléctricamente aislada del chasis y de tierra. Además de ser un blindaje para la circuitería también proporciona una trayectoria hacia tierra para minimizar el ruido de modo común.



La guarda debe de conectarse de modo que no haya corriente de modo común que circule a través del circuito de prueba.



# Bibliografía

- “Calibration: Philosophy in practice”. Fluke 2nd edition. ISBN 0 9638650-0-5.
- “Noise Reduction Techniques in Electronic Circuits”. H. W J. Wiley & Sons 1976.
- “A Generic DMM Test and Calibration Strategy”. Fluke Application Note.
- “AC Voltage Measurement Errors in Digital Multimeters”. Agilent Application Note AN1389-3.
- “Manual de Operación Calibrador Multifunciones Fluke 5700A”.
- “Manual de Operación Calibrador Multifunciones Fluke 5520 A”.
- “Manual de Operación Multímetro Agilent 3458A”.
- “Manual de Operación Multímetro Wavetek 1281”

# Prácticas

Calibración de un multímetro de 6 ½ dígitos en tensión y corriente eléctrica alterna:

10 V / 50 Hz

1 A / 50 Hz

10 V / 60 Hz

1 A / 60 Hz

10 V / 1 kHz

1 A / 1 kHz

10 V / 10 kHz

10 V / 100 kHz

1. Revisión de especificaciones
2. Conexiones y toma de mediciones
3. Análisis de resultados
4. Estimación de incertidumbre
5. Reporte de resultados

# Prácticas

*¿Qué nos indica la resolución de un multímetro?*

Mínima variación de la magnitud medida, que da lugar a una variación perceptible de la indicación correspondiente. *(Traducción del VIM 3ª edición)*

*¿Qué relación tiene que haber entre la exactitud del instrumento bajo calibración y el patrón?*

---

---

---

# Especificaciones de un multímetro de 6 ½ dígitos (1)

## Accuracy Specifications ± (% of reading + % of range)<sup>1</sup>

Function	Range <sup>3</sup>	Frequency, etc.	24 Hour <sup>2</sup> 23°C ±1°C	90 Day 23°C ±5°C	1 Year 23°C ±5°C
True rms AC voltage <sup>4</sup>	1.000000 V to 750.000 V	3 Hz – 5 Hz	1.00 + 0.02	1.00 + 0.03	1.00 + 0.03
		5 Hz – 10 Hz	0.35 + 0.02	0.35 + 0.03	0.35 + 0.03
		10 Hz – 20 kHz	0.04 + 0.02	0.05 + 0.03	0.06 + 0.03
		20 kHz – 50 kHz	0.10 + 0.04	0.11 + 0.05	0.12 + 0.04
		50 kHz – 100 kHz <sup>5</sup>	0.55 + 0.08	0.60 + 0.08	0.60 + 0.08
		100 kHz – 300 kHz <sup>6</sup>	4.00 + 0.50	4.00 + 0.50	4.00 + 0.50
True rms AC current <sup>4</sup>	1.000000 A	3 Hz – 5 Hz	1.00 + 0.04	1.00 + 0.04	1.00 + 0.04
		5 Hz – 10 Hz	0.30 + 0.04	0.30 + 0.04	0.30 + 0.04
		10 Hz – 5 kHz	0.10 + 0.04	0.10 + 0.04	0.10 + 0.04

# Especificaciones de un multímetro de 6 ½ dígitos (2)

## AC CHARACTERISTICS: Accuracy<sup>1</sup> ±(% of reading + % of range)

Function	Range	Resolution	Frequency (Hz)	1 Year (23°C ±5°C)
ACV (AC TRMS Voltage)	1.000000 V to 750.000 V <sup>2</sup>	1.0 μV to 1 mV	3 – 5	1.10 + 0.04
			5 – 10	0.4 + 0.04
			10 – 20k	0.08 + 0.04
			20k – 50k	0.14 + 0.06
			50k – 100k	0.70 + 0.08
			100k – 300k	4.35 + 0.50
ACI (AC TRMS Current)	1.000000 A	1 μA	3 – 5	1.10 + 0.05
			5 – 10	0.40 + 0.05
			10 – 5k	0.15 + 0.05

Punto de calibración	Incertidumbre por estabilidad del instrumento a calibrar	
	Multímetro 1	Multímetro 2
	(mV/V)	
10 V / 50 Hz		
10 V / 1 kHz		
10 V / 10 kHz		
10 V / 100 kHz		
	(mA/A)	
1 A / 50 Hz		
1 A / 1 kHz		

## Especificaciones de un generador multifunción (1)

Ranges	Frequency	Absolute Uncertainty, tcal $\pm 5^{\circ}\text{C}$ $\pm(\text{ppm of output} + \mu\text{V})$		Resolution	Maximum Burden <sup>1</sup>
		90 Days	1 Year		
3.3 to 32.99999V	10 to 45 Hz	250 + 650	300 + 650	100 $\mu\text{V}$	10 mA
	45 Hz to 10 kHz	125 + 600	150 + 600		
	10 to 20 kHz	220 + 600	240 + 600		
	20 to 50 kHz	300 + 600	350 + 600		
	50 to 100 kHz	750 + 1600	900 + 1600		

Ranges	Frequency	Absolute Uncertainty, tcal $\pm 5^{\circ}\text{C}$ $\pm(\% \text{ of output} + \mu\text{A})$			
		90 Days		1 Year	
0.33 to 2.999999A	10 to 45 Hz	0.15%	100 $\mu\text{A}$	0.18%	100 $\mu\text{A}$
	45 Hz to 1 kHz	0.036% <sup>4</sup>	100 $\mu\text{A}$	0.05% <sup>4</sup>	100 $\mu\text{A}$
	1 to 5 kHz <sup>2</sup>	0.5%	1000 $\mu\text{A}$	0.6%	1000 $\mu\text{A}$
	5 to 10 kHz <sup>3</sup>	2.0%	5000 $\mu\text{A}$	2.5%	5000 $\mu\text{A}$

## Especificaciones de un generador multifunción (2)

Ranges	Frequency	Absolute Uncertainty, tcal $\pm 5^{\circ}\text{C}$ $\pm(\% \text{ of output} + \mu\text{V})$		Resolution	Maximum Burden <sup>1</sup>
		90 Days	1 Year		
3.3 to 32.9999V	10 to 45 Hz	0.11 + 2500	0.15 + 2500	100 $\mu\text{V}$	10 mA
	45 Hz to 10 kHz	0.03 + 600	0.04 + 600		
	10 to 20 kHz	0.06 + 2600	0.08 + 2600		
	20 to 50 kHz	0.14 + 5000	0.19 + 5000		
	50 to 100 kHz	0.17 + 17000	0.24 + 17000		

Ranges	Frequency	Absolute Uncertainty, tcal $\pm 5^{\circ}\text{C}$ $\pm(\% \text{ of output} + \mu\text{A})$		Resolution	Compliance Voltage	Maximum Inductive Load
		90 Days	1 Year			
0.33 to 2.19999A	10 to 45 Hz	0.15 + 300	0.2 + 300	10 $\mu\text{A}$	3V rms	200 $\mu\text{H}$ , 45 to 500 Hz 5 $\mu\text{H}$ , 500 Hz to 5 kHz
	45 Hz to 1 kHz	0.08 + 300	0.1 + 300			
	1 to 5 kHz	0.07 + 300	0.75 + 300			

## Revisión de especificaciones

Punto de calibración	Incertidumbre por estabilidad del instrumento a calibrar		Incertidumbre por estabilidad del patrón de referencia		Relación de calibración entre el patrón y el instrumento a calibrar			
	Multímetro 1	Multímetro 2	Generador 1	Generador 2	$\frac{U_{est} M1}{U_{est} G1}$	$\frac{U_{est} M2}{U_{est} G1}$	$\frac{U_{est} M1}{U_{est} G2}$	$\frac{U_{est} M2}{U_{est} G2}$
	(mV/V)		(mV/V)					
10 V / 50 Hz	0.90	1.20	0.21	0.46	4	6	2.0	2.6
10 V / 1 kHz	0.90	1.20	0.21	0.46	4	6	2.0	2.6
10 V / 10 kHz	0.90	1.20	0.30	1.06	3	4	0.8	1.1
10 V / 100 kHz	45	49	1.06	4.10	42	46	11	12
	(mA/A)		(mA/A)					
1 A / 50 Hz	1.40	2.00	0.60	1.30	2.3	3	1.1	1.5
1 A / 1 kHz	1.40	2.00	0.60	1.30	2.3	3	1.1	1.5

### Conclusión:

---



---



---

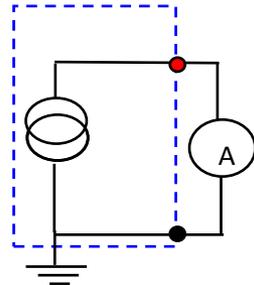
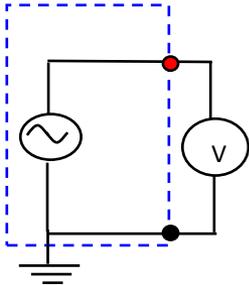


---

# Conexiones y toma de mediciones

- **Determinación del Mensurando**

Error del multímetro



Condiciones de medición:

---

---

---

- **Determinación del modelo matemático de la medición**

$$E = V_{\text{medido}} - (V_{\text{indicado}} - \epsilon_{\text{generador}})$$

## Resultado del promedio de 20 lecturas

	Promedio (V)	s (V)	s ( $\mu\text{V}/\text{V}$ )
50 Hz	9.999 74	4E-05	4
60 Hz	9.999 89	5E-05	5
1 kHz	10.000 29	1E-05	1
10 kHz	10.000 87	8E-06	1
100 kHz	9.998 90	1E-05	1
	Promedio (A)	s (A)	s ( $\mu\text{A}/\text{A}$ )
50 Hz	1.000 89	7E-06	7
60 Hz	1.000 94	6E-06	6
1 kHz	1.000 89	6E-06	6

## Datos del certificado de calibración del generador de referencia

Alcance nominal	Punto de calibración	Valor indicado	Valor de referencia	Error relativo $\pm$ Incertidumbre; $k=2.0$ ( $\mu\text{V}/\text{V}$ )
33 V	10 V / 50 Hz	10.000 0 V	10.000 27 V	-27 $\pm$ 28
	10 V / 1 kHz	10.000 0 V	9.999 91 V	9 $\pm$ 28
	10 V / 10 kHz	10.000 0 V	10.000 06 V	-6 $\pm$ 34
	10 V / 20 kHz	10.000 0 V	10.000 19 V	-19 $\pm$ 36
	10 V / 50 kHz	10.000 0 V	10.000 11 V	-11 $\pm$ 47
	10 V / 100 kHz	10.000 0 V	10.000 55 V	-55 $\pm$ 70

Alcance nominal	Punto de calibración	Valor indicado	Valor de referencia	Error relativo $\pm$ Incertidumbre ; $k=2.0$ (mA/A)
3 A	1 A / 50 Hz	1.000 00 A	1.000 05 A	-0.05 $\pm$ 0.10
	1 A / 1 kHz	1.000 00 A	1.000 05 A	-0.05 $\pm$ 0.10

Determinación del Error						
Punto de Calibración	Promedio de lecturas del IBC (V)	Indicación del generador de referencia (V)	Datos del Certificado generador de referencia Error (mV/V)	Datos del Certificado generador de referencia Error (V)	Valor de referencia (V)	Error del IBC (mV/V)
10 V / 50 Hz	9.999 74	10.000 00	-0.03	-3E-04	10.000 27	-0.05
10 V / 60 Hz	9.999 89	10.000 00	-0.03	-3E-04	10.000 27	-0.04
10 V / 1 kHz	10.000 29	10.000 00	0.01	9E-05	9.999 91	0.04
10 V / 10 kHz	10.000 87	10.000 00	-0.01	-6E-05	10.000 06	0.08
10 V / 100 kHz	9.998 90	10.000 00	-0.06	-5E-04	10.000 55	-0.17

Determinación del Error						
Punto de Calibración	Promedio de lecturas del IBC (A)	Indicación del generador de referencia (A)	Datos del Certificado generador de referencia Error (mA/A)	Datos del Certificado generador de referencia Error (A)	Valor de referencia (A)	Error del IBC (A)
1 A / 50 Hz	1.000 89	1.000 00	-0.05	-5E-05	1.000 05	0.84
1 A / 60 Hz	1.000 94	1.000 00	-0.05	-5E-05	1.000 05	0.89
1 A / 1 kHz	1.000 89	1.000 00	-0.05	-5E-05	1.000 05	0.84

## Análisis de resultados

Cuando se reporte el resultado de una medición de una magnitud física es obligatorio proporcionar alguna indicación cuantitativa de la calidad del resultado, de manera tal que el usuario pueda apreciar su confiabilidad. Sin esta indicación, los resultados de las mediciones no pueden ser comparados, ni entre ellas mismas ni con respecto a valores de referencia dados en una especificación o norma. *(NMX-CH-140-IMNC 2002 Guía para la expresión de la Incertidumbre en las Mediciones)*

### Estimación de incertidumbre

- Determinación del modelo matemático de la medición
- Identificación de fuentes de incertidumbre
- Evaluación de incertidumbre estándar
- Determinación de incertidumbre estándar combinada
- Determinación de la incertidumbre expandida

Para magnitudes no correlacionadas la expresión general de la incertidumbre combinada  $u_c$  del mensurando y es  $u_c(y)$ :

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

$u(x_i)$  es cada de las incertidumbres estándar.

Los coeficientes de sensibilidad  $c_i$ , describen cómo la estimación del mensurando y varía con los cambios de las estimaciones de los argumentos  $x_1, x_2, \dots, x_N$ .

$u_i(y)$  es la contribución de la incertidumbre estándar.

La incertidumbre expandida  $U$  se obtiene:

$$U = k u_c(y)$$

El valor del factor de cobertura  $k$  se elige con base en el nivel de confianza requerido  $\rho$ .

Para obtener el valor del factor de cobertura  $k$  se requiere del conocimiento detallado de la distribución de probabilidad que caracteriza al resultado de la medición y su incertidumbre estándar combinada.

Nivel de confianza $\rho$ (en por ciento)	Factor de cobertura $k$
68.27	1
90	1.645
95	1.960
95.45	2
99	2.576
99.73	3

**Tabla G.1** - Valor del factor de cobertura  $k$  que produce un intervalo que tiene un nivel de confianza  $\rho$  asumiendo una distribución normal

El factor de cobertura  $k$  es función de los grados efectivos de libertad

$$U = k \quad u_c(y) = t(v_{\text{eff}}) u_c(y) \quad (\text{G.1.d})$$

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}}$$

**Table G.2 — Value of  $t_p(v)$  from the  $t$ -distribution for degrees of freedom  $v$  that defines an interval  $-t_p(v)$  to  $+t_p(v)$  that encompasses the fraction  $p$  of the distribution**

Degrees of freedom $v$	Fraction $p$ in percent					
	68,27 <sup>a)</sup>	90	95	95,45 <sup>a)</sup>	99	99,73 <sup>a)</sup>
1	1,84	6,31	12,71	13,97	63,66	235,80
2	1,32	2,92	4,30	4,53	9,92	19,21
3	1,20	2,35	3,18	3,31	5,84	9,22
4	1,14	2,13	2,78	2,87	4,60	6,62
5	1,11	2,02	2,57	2,65	4,03	5,51
50	1,01	1,68	2,01	2,05	2,68	3,16
100	1,005	1,660	1,984	2,025	2,626	3,077
$\infty$	1,000	1,645	1,960	2,000	2,576	3,000

Tabla G.2 JCGM 100:2008

$$E = V_{\text{medido}} - (V_{\text{indicado}} - \varepsilon_{\text{generador}})$$

Fuente de incertidumbre $X_i$	Estimado $x_i$	Función de Distribución de probabilidad	incertidumbre estándar $u(x_i)$	Coefficiente de sensibilidad $c_i$	Contribución de incertidumbre estándar $u_i(y)$	Grados de libertad $\nu_i$
Valor medido	9.999 74 V	normal	$\frac{s}{\sqrt{n}}$	1	$\frac{s}{\sqrt{n}}$	4
Resolución del medidor	-----	rectangular	$\frac{\text{resolución}}{2\sqrt{3}}$	1	$\frac{\text{resolución}}{2\sqrt{3}}$	$\infty$
Indicación del generador	10.000 0 V	-----	-----	-----	-----	-----
Error de calibración $\varepsilon$	-0.000 30 V	normal	$\frac{u\varepsilon_{\text{generador}}}{k}$	1	$\frac{u\varepsilon_{\text{generador}}}{k}$	100
Estabilidad del error de calibración $\varepsilon$	-----	normal	$\frac{u_{\text{estabilidad}} \varepsilon_{\text{generador}}}{k}$	1	$\frac{u_{\text{estabilidad}} \varepsilon_{\text{generador}}}{k}$	100
Error del multímetro	-0.000 56 V				$u_c(y)$	$\nu_{\text{efectivos}}$

Componentes de incertidumbre e incertidumbre estándar								
Dispersión de las mediciones. Desviación estándar experimentales Vca (V)	Número de mediciones Vca n Vcc []	u1 Vca Desviación estándar de la media (V)	Resolución del multímetro u2 vca (V)	Incertidumbre estándar Resolución (k=1) u2 vca (V)	Incertidumbre cal Generador ref (k=2) u3 vca (mV/V)	Incertidumbre estándar cal generador ref (k=1) u3 vca (V)	Estabilidad generador ref (k=2) u4 vca (mV/V)	Incertidumbre estándar estabilidad Generador ref (k=1) u4 vca (V)
3.9E-05	20	8.6E-06	1.0E-05	2.9E-06	0.03	1.5E-04	0.21	1.1E-03
4.6E-05	20	1.0E-05	1.0E-05	2.9E-06	0.03	1.5E-04	0.21	1.1E-03
1.3E-05	20	2.9E-06	1.0E-05	2.9E-06	0.03	1.5E-04	0.21	1.0E-03
8.0E-06	20	1.8E-06	1.0E-05	2.9E-06	0.03	1.5E-04	0.30	1.5E-03
1.2E-05	20	2.6E-06	1.0E-05	2.9E-06	0.07	3.5E-04	1.06	5.3E-03

Componentes de incertidumbre e incertidumbre estándar								
Dispersión de las mediciones. Desviación estándar experimentales Vca (A)	Número de mediciones Vca n Vcc []	u1 Vca Desviación estándar de la media (A)	Resolución del multímetro u2 vca (A)	Incertidumbre por Resolución (k=1) u2 vca (A)	Incertidumbre cal Generador ref (k=2) u3 vca (mA/A)	Incertidumbre cal generador ref (k=1) u3 vca (V)	Estabilidad generador ref (k=2) u4 vca (mA/A)	Estabilidad Generador ref (k=1) u4 vca (A)
6.6E-06	20	1.5E-06	1.0E-05	2.9E-06	0.10	5.0E-05	0.60	3.0E-04
6.2E-06	20	1.4E-06	1.0E-05	2.9E-06	0.10	5.0E-05	0.60	3.0E-04
5.9E-06	20	1.3E-06	1.0E-05	2.9E-06	0.10	5.0E-05	0.60	3.0E-04

$$E = V_{\text{medido}} - (V_{\text{indicado}} - \varepsilon_{\text{generador}})$$

Coeficientes de sensibilidad			Contribución de incertidumbre estándar			
Coeficiente de sensibilidad c1	Coeficiente de sensibilidad c2	Coeficiente de sensibilidad c3	u1	u2	u3	u4
$\frac{\partial E}{\partial V_{\text{medido}}}$	$\frac{\partial E}{\partial V_{\text{indicado}}}$	$\frac{\partial E}{\partial \varepsilon_{\text{generador}}}$	ua	Resolución	Calibración de generador	Estabilidad del generador
()	()	()	(V)	(V)	(V)	(V)
1	-1	1	8.6E-06	2.9E-06	1.5E-04	1.1E-03
1	-1	1	1.0E-05	2.9E-06	1.5E-04	1.1E-03
1	-1	1	2.9E-06	2.9E-06	1.5E-04	1.0E-03
1	-1	1	1.8E-06	2.9E-06	1.5E-04	1.5E-03
1	-1	1	2.6E-06	2.9E-06	3.5E-04	5.3E-03

Coeficientes de sensibilidad			Contribución de incertidumbre estándar			
Coeficiente de sensibilidad c1	Coeficiente de sensibilidad c2	Coeficiente de sensibilidad c3	u1	u2	u3	u4
$\frac{\partial E}{\partial V_{\text{medido}}}$	$\frac{\partial E}{\partial V_{\text{indicado}}}$	$\frac{\partial E}{\partial \varepsilon_{\text{generador}}}$	ua	Resolución	Calibración de generador	Estabilidad del generador
()	()	()	(A)	(A)	(A)	(A)
1	-1	1	1.5E-06	2.9E-06	5.0E-05	3.0E-04
1	-1	1	1.4E-06	2.9E-06	5.0E-05	3.0E-04
1	-1	1	1.3E-06	2.9E-06	5.0E-05	3.0E-04

incertidumbre combinada del Error (k=1)	incertidumbre combinada del Error (k=1)	incertidumbre expandida del Error (k=2)	Grados efectivos de libertad					Datos del Anexo G de la GUM para un nivel de confianza de 95.45% k
			dispersión	resolución	calibración generador	estabilidad generador		
			v n	v resolución	v calibración	vestabilidad	v eff	
(V)	(mV/V)	(mV/V)	[]	[]	[]	[]	[]	[]
1.1E-03	0.11	0.21	19	∞	100	100	104	2.0
1.1E-03	0.11	0.21	19	∞	100	100	104	2.0
1.1E-03	0.11	0.21	19	∞	100	100	104	2.0
1.5E-03	0.15	0.30	19	∞	100	100	102	2.0
5.3E-03	0.53	1.06	19	∞	100	100	101	2.0

incertidumbre combinada del Error (k=1)	incertidumbre combinada del Error (k=1)	incertidumbre expandida del Error (k=2)	Grados efectivos de libertad					Datos del Anexo G de la GUM para un nivel de confianza de 95.45% k
			dispersión	resolución	calibración generador	estabilidad generador		
			v n	v resolución	v calibración	v estabilidad	v eff	
(A)	(mA/A)	(mA/A)	[]	[]	[]	[]	[]	[]
3.0E-04	0.30	0.61	19	∞	100	100	106	2.0
3.0E-04	0.30	0.61	19	∞	100	100	106	2.0
3.0E-04	0.30	0.61	19	∞	100	100	106	2.0

# Reporte de resultados

**7.2.6** El valor numérico del estimado  $y$  y de su incertidumbre estándar  $u_c(y)$  o su incertidumbre expandida  $U$  no deben ser dadas con un número excesivo de dígitos. Usualmente es suficiente expresar  $u_c(y)$  y  $U$  [así como las incertidumbres estándar  $u(x_i)$  de las estimaciones de los argumentos  $x_i$ ], con a lo más dos dígitos significativos

Alcance nominal	Punto de calibración	Valor de referencia (V)	Valor medido (V)	Error Relativo $\pm$ Incertidumbre (mV/V)	factor de cobertura k
10 V	10 V / 50 Hz	10.000 3	9.999 7	-0.06 $\pm$ 0.21	2.0
	10 V / 60 Hz	10.000 3	9.999 9	-0.04 $\pm$ 0.21	2.0
	10 V / 1 kHz	9.999 9	10.000 3	0.04 $\pm$ 0.21	2.0
	10 V / 10 kHz	10.000 1	10.000 9	0.08 $\pm$ 0.30	2.0
	10 V / 100 kHz	10.000 6	9.998 9	-0.17 $\pm$ 1.06	2.0

Alcance nominal	Punto de calibración	Valor de referencia (A)	Valor medido (A)	Error Relativo $\pm$ Incertidumbre (mA/A)	factor de cobertura k
1 A	1 A / 50 Hz	1.0000 5	1.0008 9	0.84 $\pm$ 0.61	2.0
	1 A / 60 Hz	1.0000 5	1.0009 4	0.89 $\pm$ 0.61	2.0
	1 A / 1 kHz	1.0000 5	1.0008 9	0.84 $\pm$ 0.61	2.0