

Instituto Nacional
de Tecnología Industrial

Centro de Desarrollo e Investigación
en Física y Metrología



INTI



Procedimiento específico: PEE50

Calibración de calibradores multifunción y multiproducto

Revisión: Agosto 2017

Este documento se ha elaborado con recursos del Instituto Nacional de Tecnología Industrial.
Sólo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.

PEE50 Agosto 2017 Lista de enmiendas:

[illegible]

PEE50 Índice: Agosto 2017

NOMBRE DEL CAPÍTULO	REVISIÓN
Página titular	Agosto 2017
Lista de enmiendas	Agosto 2017
Índice	Agosto 2017
Calibración de calibradores multifunción y multiproducto	Agosto 2017
Anexo 1	Agosto 2017

PREPARADO POR

FIRMA Y SELLO



REVISADO POR

FIRMA Y SELLO


ING. LUCAS J. DI LILLO
COORD. EFICIENCIA
FÍSICA Y METROLOGÍA
INTI

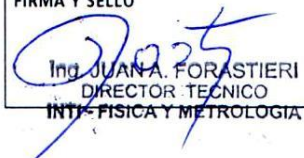
REVISADO POR

FIRMA Y SELLO


ING. PATRICIA VARELA
COORD. CALIDAD Y ADMINISTRACIÓN
INTI - FÍSICA Y METROLOGÍA

APROBADO POR

FIRMA Y SELLO


Ing. JUANA FORASTIERI
DIRECTOR TÉCNICO
INTI - FÍSICA Y METROLOGÍA

PEE50: Agosto 2017

1. Objetivo

Establecer los métodos de calibración para calibradores multifunción y multiproducto.

2. Alcance

Calibradores multifunción y multiproducto comprendidos en los siguientes rangos:

- Tensión continua (DCV): 100 mV a 1000 V (Método manual)
- Tensión continua (DCV): 10 mV a 1020 V (Método automático)
- Resistencia en corriente continua (DCR): 1 Ω a 1,1 G Ω (Método manual o automático)
- Corriente continua (DCI): 10 μ A a 20 A (Método manual o automático)
- Tensión alterna (ACV): 10 mV a 10 V; frecuencia: 10 Hz a 1 MHz
>10 V a 1000 V; frecuencia: 10 Hz a 100 kHz
- Corriente alterna (ACI): 33 μ A a 300 mA; frecuencia: 10 Hz a 30 kHz
>300 mA a 10 A; frecuencia: 10 Hz a 10 kHz
- Forma de onda: sinusoidal.

3. Definiciones y abreviaturas

Se encuentran en las normas de referencia, Manual de la Calidad, Plan de la Calidad y en el cuerpo de este procedimiento.

4. Referencias

Ver el manual del usuario del instrumento.

5. Responsabilidades

Los técnicos del laboratorio de calibradores y resistores en la ejecución de las calibraciones.
El Coordinador de la UT Electricidad supervisa las calibraciones, verifica que se siguen los procedimientos y comprueba los resultados.

6. Instrucciones

Antes de empezar las calibraciones, en caso que sea aplicable, se debe hacer la rutina de ajuste de cerros del calibrador bajo prueba, habitualmente descripta en su manual de operación.
Se deberán usar cables blindados, con conectores de bajo potencial preferentemente siendo su longitud tan corta como sea posible.

En el caso de calibradores tipo Fluke 5700A/5720A, el terminal LOW debe estar internamente conectado al terminal GUARD cuando está en operación y unido al terminal GROUND (excepto cuando se calibra en la función resistencia).

Los cables de alimentación, tanto del calibrador como del instrumental necesario para realizar las calibraciones, deben estar conectados a la misma tierra.

Tanto el calibrador bajo prueba como el instrumental necesario para realizar la calibración deben permanecer conectados a la tensión y frecuencia de línea de 220 V, 50 Hz en el laboratorio 3 a la temperatura de (23 \pm 2) $^{\circ}$ C, con humedad relativa ambiente comprendida entre 30 y 70 %.

Debe cumplirse con el período de calentamiento, tanto en el calibrador como, del instrumental necesario para realizar las calibraciones siguiendo las recomendaciones dadas en sus respectivos manuales de operación antes de llevarse a cabo las calibraciones.

Durante la calibración la temperatura del laboratorio debe estar comprendida entre (23 \pm 1) $^{\circ}$ C y la humedad relativa ambiente entre 30 % y 70 %.

PEE50: Agosto 2017

Se calculan la media y la desviación estándar de al menos cinco mediciones para cada valor a calibrar.

7. Alternativa I: Método manual

7.1. Descripción del sistema para la función tensión continua: 1 y 10 V

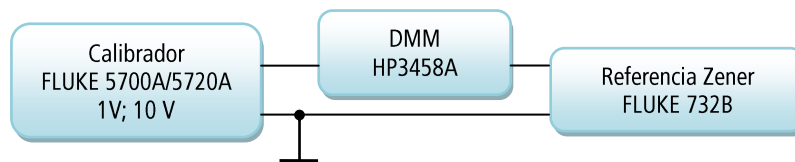


Figura 1 : DMM= Multímetro digital Hewlett Packard HP3458A

7.1.1. Incertidumbre: Modelo matemático y balance de incertidumbre

Modelo matemático

$$Y = X \cdot (1 + D_z) \cdot (1 + TC_z) + M$$

Donde:

Y = salida del calibrador.

X = salida de la referencia zener, obtenida de su calibración contra el equipamiento Josephson.

D_z = corrección por corrimiento de la referencia zener, obtenida de su historia previa.

TC_z = corrección debida al coeficiente de temperatura de la salida de la referencia zener. Su valor medio es igual a cero debido a que los valores medios durante la calibración de la referencia zener y durante la calibración del calibrador son los mismos.

M = valor medio de la diferencia entre la salida del calibrador y la salida de la referencia zener, medida con el DMM HP3458A. Incluye la corrección correspondiente al rango de 100 mV del multímetro.

Ejemplos de balance de incertidumbre

Tabla 1: Balance de incertidumbre para: 1 V

Tensión: 1 VDC - incertidumbre absoluta

Fuente de incertidumbre	Símbolo	$c_i^{(1)}$	Valor (\pm)	Distribución ⁽²⁾	Factor	n_i ⁽³⁾	$c_i^2 \cdot u_i^2$	
salida de la referencia Zener	X	1	1,0E-07 V	n	2,0	50	2,50E-15	V ²
corrimiento de la referencia Zener	D_z	1 V	1,0E-07	r	1,7	50	3,33E-15	V ²
coeficiente de temp.de la referencia Zener	TC_z	1 V	1,0E-07	r	1,7	50	3,33E-15	V ²
Diferencia de tensión medida con HP3458A	M	1	3,0E-07 V	n	2,0	20	2,25E-14	V ²
resolución del DMM	R	1	5,0E-08	r	1,7	50	8,65E-16	V ²
Incertidumbre combinada	u_c			u (k=1)		39	1,78E-07	V ²
Incertidumbre expandida (k=2)	U			U (95%)	2,0		3,60E-01	μV

(1) coeficiente de sensibilidad

(2) N: normal; R:rectangular

(3) grados de libertad

relativa $U = \pm 0,36$ $\mu V/V$

Tabla 2: Balance de incertidumbre para 10 V

Fuente de incertidumbre	Símbolo	$c_i^{(1)}$		Valor (\pm)		Distribución ⁽²⁾	Factor	$v_i^{(3)}$	$c_i^2 \cdot u_i^2$	
salida de la referencia Zener	X	1		5,0E-07	V	n	2,0	50	6,25E-14	V ²
corrimiento de la referencia Zener	D_z	1	V	2,0E-07		r	1,7	50	1,33E-14	V ²
coeficiente de temp.de la referencia Zener	TC_z	1	V	4,0E-08		r	1,7	50	5,33E-16	V ²
Diferencia de tensión medida con HP3458A	M	1		3,0E-07	V	n	2,0	20	2,25E-14	V ²
resolución del DMM	R	1		5,0E-08		r	1,7	50	8,65E-16	V ²
Incertidumbre combinada	u_c					u (k=1)		91	3,14E-07	V ²
Incertidumbre expandida (k=2)	U					U (95%)	2,0		6,25E-01	μV

(1) coeficiente de sensibilidad

(2) N: normal; R:rectangular

(3) grados de libertad

relativa $U = \pm 0,62$ $\mu V/V$

PEE50: Agosto 2017

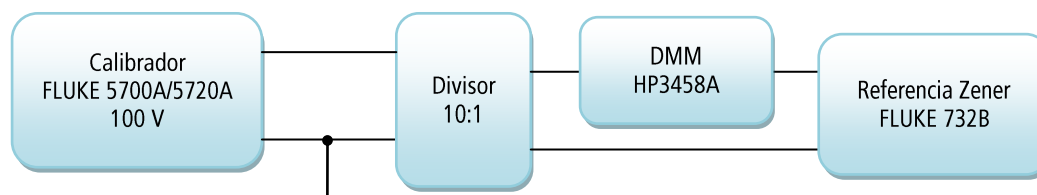
7.2. Descripción del sistema para la función tensión continua: 100 V

Figura 2

DMM: Multímetro digital Hewlett Packard HP3458A

Divisor 10:1 = Fluke 720A, ESI RV722 divisor de tensión Kelvin Varley establecido a 0,1000000. o patrón de transferencia de resistencia ESI SR1010 de 10 kΩ/paso.

7.2.1. Incertidumbre: Modelo matemático y balance de incertidumbre**Modelo matemático**

$$Y = \frac{X \cdot (1 + D_z) \cdot (1 + TC_z) + M}{K_d}$$

donde:

 Y = salida del calibrador FLUKE 5700A/5720A X = salida de la referencia Zener FLUKE 732B, obtenida de la calibración contra el equipamiento Josephson. D_z = corrección del corrimiento de la referencia Zener, obtenida de la historia previa de dicha referencia TC_z = corrección debida al coeficiente de temperatura de la salida de la referencia Zener. Su valor medio es igual a cero debido a que los valores medios de la temperatura durante la calibración de la referencia Zener y durante la calibración del calibrador son los mismos. M = valor medio de la diferencia entre la salida del divisor y la salida de la referencia Zener, medido con el DMM HP3458A. K_d = relación del divisor Kelvin Varley calibrado previamente en la posición 0,1000000.**Ejemplo de balance de incertidumbre**

Tabla 3: Balance de incertidumbre para 100 V

Tensión: 100 VDC - incertidumbre absoluta

Fuente de incertidumbre	Símbolo	$c_i^{(1)}$	Valor (\pm)	Distribución ⁽²⁾	Factor	$n_i^{(3)}$	$c_i^2 \cdot u_i^2$	
salida de la referencia Zener	X	10	5,0E-07 V	n	2,0	50	6,25E-12	V ²
corrimiento de la referencia Zener	D_z	100 V	2,0E-07	r	1,7	50	1,33E-10	V ²
coeficiente de temp. de la referencia Zener	TC_z	100 V	4,0E-08	r	1,7	50	5,33E-12	V ²
Diferencia de tensión medida con HP3458A	M	10	3,0E-07 V	n	2,0	20	2,25E-12	V ²
Relación de división del Kelvin Varley	K_d	1000 V	3,0E-07	n	2,0	50	2,25E-08	V ²
Incertidumbre combinada	u_c			u (k=1)		51	1,50E-04	V
Incertidumbre expandida (k=2)	U			U (95%)	2,0		$\pm 0,3$	mV

(1) coeficiente de sensibilidad

(2) N: normal; R:rectangular

(3) grados de libertad

relativa

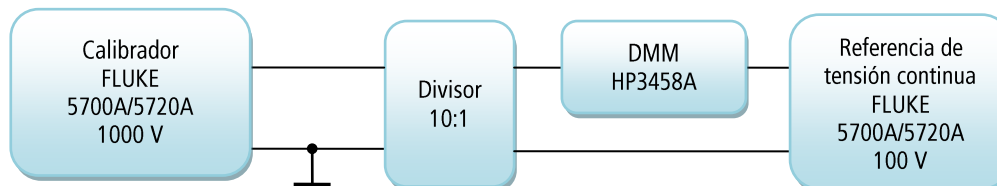
 $U = \pm 3 \mu V/V$ **7.3. Descripción del sistema para la función tensión continua: 1000 V**

Figura 3

DMM: Multímetro digital Hewlett Packard HP3458A

Divisor 10:1: Fluke 720A, divisor de tensión Kelvin Varley establecido en 0,1000000

PEE50: Agosto 2017

7.3.1. Incertidumbre: Modelo matemático y balance de incertidumbre**Modelo matemático**

$$Y = \frac{X \cdot (1 + S) + M}{K_d}$$

Y = salida del calibrador FLUKE 5700A/5720A bajo prueba a 1000 V.

X = Salida del Patrón de Tensión continua FLUKE 5700A/5720A a 100 V previamente calibrado de acuerdo a 7.2iError! No se encuentra el origen de la referencia., dentro de los 60 minutos de la calibración.

S = estabilidad del Patrón de Tensión continua FLUKE 5700A/5720A durante 60 minutos.

M = valor medio de la diferencia entre la salida del divisor y la salida del Patrón de Tensión continua FLUKE 5700A/5720A, medida con el DMM HP3458A.

K_d = relación del divisor Kelvin Varley, previamente calibrado en la posición 0,1000000. Incluye la incertidumbre debida a su coeficiente de potencia.

Ejemplo de balance de incertidumbre

Tabla 4: Balance de incertidumbre para 1000 V CC

Tensión: 1000 VDC - incertidumbre absoluta

Fuente de incertidumbre	Símbolo	$c_i^{(1)}$	Valor (\pm)	Distribución ⁽²⁾	Factor	$v_i^{(3)}$	$c_i^2 \cdot u_i^2$	
Salida de calibrador FLUKE 5720A	X	10	3,0E-04 V	n	2,0	50	2,25E-06	V ²
Estabilidad del calibrador FLUKE 5720A	S	1000	3,0E-07	r	1,7	50	3,00E-08	V ²
Diferencia de tensión medida con HP3458A	M	10	3,0E-07	n	2,0	20	2,25E-12	V ²
Relación de división del Kelvin Varley	K_d	1000	3,0E-06	n	2,0	50	2,25E-06	V ²
correlación entre X y K_d ($\rho = 1$)	C_{XKd}	10000	2,3E-10	n	-	50	4,50E-06	V ²
Incertidumbre combinada	u_c			u ($k=1$)		403	3,00E-03	V
Incertidumbre expandida ($k=2$)	U			U (95%)	2,0		$\pm 5,91$	mV

(1) coeficiente de sensibilidad

(2) N: normal; R:rectangular

(3) grados de libertad

relativa

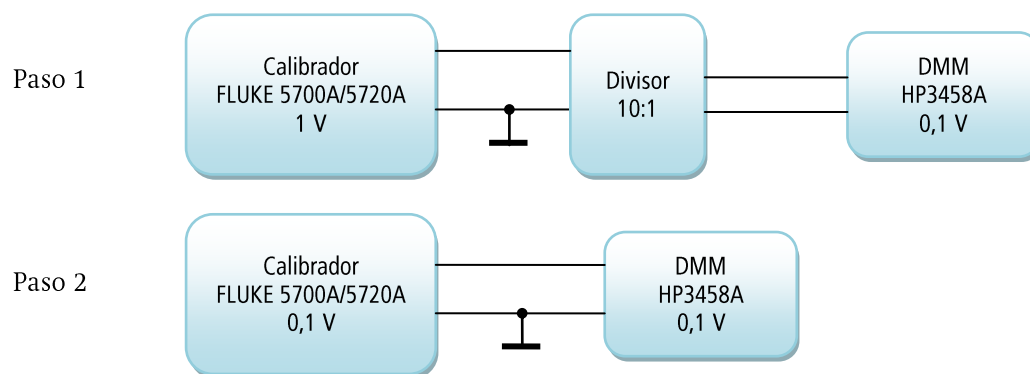
 $U = \pm 5,9 \mu V/V$ **7.4. Descripción del sistema para la función tensión continua: 0,1 V**

Figura 4

DMM = Multímetro digital Hewlett Packard HP3458A

Divisor 10:1: Fluke 720A, divisor de tensión Kelvin Varley ESI RV722, establecido en 0,1000000 o Patrón de Transferencia de Resistencia ESI SR1010 de 10 k Ω /paso

PEE50: Agosto 2017

7.4.1. Incertidumbre: Modelos matemáticos y balances de incertidumbre**Modelos matemáticos**

$$\text{Paso 1} \quad Y_{\text{DMM-1}} = X_{5700-1V} \cdot (1 + D_{5700-1V}) \cdot K_d$$

$$\text{Paso 2} \quad Y_{5700-0,1V} = Y_{\text{DMM-2}} (1 + S_{\text{DMM}})$$

$X_{5700-1V}$ = salida del calibrador a 1 V, calibrado de acuerdo a 7.1.

$D_{5700-1V}$ = corrimiento del calibrador FLUKE 5700A/5720A a 1VCC

$Y_{\text{DMM-1}}$ = lectura del DMM HP3458A, a 0,1 V (paso 1)

$Y_{\text{DMM-2}}$ = lectura del DMM HP3458A a 0,1 V (paso 2)

K_d = relación del divisor Kelvin Varley, previamente calibrado para la posición 0,1000000.

$Y_{5700-0,1V}$ = salida del calibrador a 0,1 V

S_{DMM} = exactitud de transferencia del DMM HP3458A.

Ejemplo de balance de incertidumbre

Tabla 5: Balance de incertidumbre para 0,1 V

Tensión: 0.1 VDC - incertidumbre absoluta

Fuente de incertidumbre	Símbolo	$c_i^{(1)}$	Valor (\pm)	Distribución ⁽²⁾	Factor	$v_i^{(3)}$	$c_i^2 \cdot u_i^2$	
Tensión del calibrador FLUKE 5700A a 1 VDC	$X_{5700-1V}$	0,1	3,6E-07 V	n	2,0	50	3,24E-16	V ²
Corrimiento del calibrador FLUKE 5700A a 1 VDC	$D_{5700-1V}$	0,1	3,0E-07	r	1,7	50	3,00E-16	V ²
Relación de división del divisor Kelvin Varley	K_d	1	3,0E-07	n	2,0	50	2,25E-14	V ²
Exactitud de transferencia del HP3458A	S_{DMM}	0,1	1,0E-06	r	1,7	50	3,33E-15	V ²
Indicación 1 del HP3458A en el rango de 100 mV	$Y_{\text{DMM-1}}$	0,1	1,0E-06 V	n	2,0	20	2,50E-15	V ²
Indicación 2 del HP3458A en el rango de 100 mV	$Y_{\text{DMM-2}}$	0,1	1,0E-06 V	n	2,0	20	2,50E-15	V ²
Incertidumbre combinada	u_c			u (k=1)		90	1,77E-07	V
Incertidumbre expandida (k=2)	U			U (95%)	2,0		$\pm 0,352$	μV

(1) coeficiente de sensibilidad

(2) N: normal; R:rectangular

(3) grados de libertad

relativa $U = \pm 3,5 \mu\text{V/V}$ **7.5. Descripción del sistema para la función Resistencia en CC: 1Ω; 1,9 Ω; 10 Ω; 19 Ω; 100 Ω; 190 Ω; 1 kΩ; 1,9 kΩ; 10 kΩ; 19 kΩ.**

Desconectar el cortocircuito entre los terminales V Guard y Ground en el calibrador Fluke 5700A/5720A.

Referirse al procedimiento específico PEE42 (Calibración de resistencia con puente comparador de corrientes).

7.6. Descripción del sistema para la función Resistencia en CC: 100 kΩ; 190 kΩ; 1 MΩ; 1,9 MΩ; 10 MΩ; 19 MΩ; 100 MΩ.

Conectar el cortocircuito entre los terminales V Guard y Ground en el calibrador Fluke 5700A/5720A.

Referirse al procedimiento específico PEE43 (calibración de resistencia con multímetro).

La tabla 6 resume las incertidumbres expandidas obtenidas para la calibración del calibrador multifunción Fluke 5700A/5720A calibrado según los procedimientos PEE42 hasta 19 kΩ y desde 100 kΩ hasta 100 MΩ según el procedimiento PEE43.

PEE50: Agosto 2017

Tabla 6: Incertidumbres expandidas del calibrador multifunción Fluke 5700A/5720A (k=2)

VALOR NOMINAL	U (k=2) [μΩ/Ω]
1Ω	3
1,9Ω	3
10Ω	1,5
19Ω	1,5
100Ω	1,5
190Ω	1,5
1kΩ	1,5
1,9kΩ	1,5
10kΩ	0,5
19kΩ	1
100kΩ	2,5
190kΩ	3
1MΩ	4
1,9MΩ	7
10MΩ	9
19MΩ	90
100MΩ	60

7.7. Descripción del sistema para la función corriente continua: 10 μA, 100 μA, 1 mA, 10 mA, 100 mA, 1 A, 2 A, 10 A y 20 A

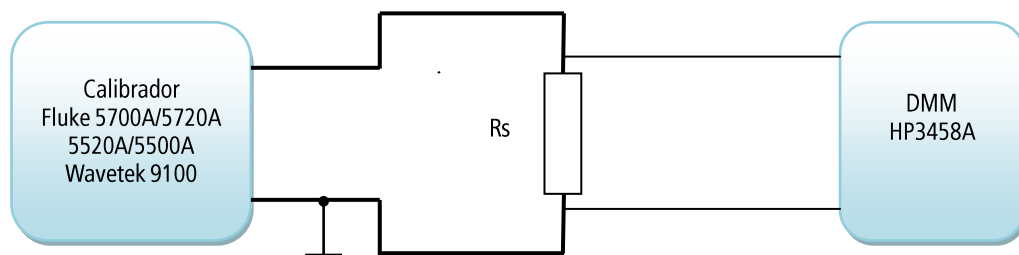


Figura 5

7.7.1. Incertidumbre: Modelo matemático y balances de incertidumbre

Modelo matemático

$$I = \frac{U_{DMM} \cdot (1 + C_{DMM}) \cdot (1 + r_{DMM}) \cdot (1 + D_{DMM})}{R_s \cdot (1 + TC_{R_s}) \cdot (1 + PC_{R_s}) \cdot (1 + L_{DMM})}$$

I = corriente de salida del calibrador FLUKE 5700A/5720A/5520A/5500A; Wavetek 9100

U_{DMM} = tensión medida con el multímetro HP3458A

C_{DMM} = corrección del voltímetro HP3458A

r_{DMM} = resolución del voltímetro HP3458A

D_{DMM} = corrimiento del voltímetro HP3458A

PEE50: Agosto 2017

 R_s = resistor patrón TC_{R_s} = corrección debida al coeficiente de temperatura R_s PC_{R_s} = corrección debida al coeficiente de potencia R_s L_{DMM} = efecto de carga del multímetro debido a su resistencia de entrada**Ejemplos de balance de incertidumbre**Tabla 7: Balance de incertidumbre para 10 μA CC

Fuente de incertidumbre	Símbolo	$C_i^{(1)}$	Valor	Distribución ⁽²⁾	Factor	$\nu_i^{(3)}$	$C_i^2 \cdot u_i^2$
Tensión medida con el DMM HP3458A, rango 100 mV	U_{DMM}	1	5,0E-06	n	2,0	20	6,25E-12
corrección del DMM HP3458A, rango 100 mV	C_{DMM}	1	1,0E-06	n	2,0	50	2,50E-13
resolución del DMM HP3458A, rango 100 mV	r_{DMM}	1	5,0E-08	r	1,7	50	8,33E-16
corrimiento del DMM HP3458A, rango 100 mV	D_{DMM}	1	5,0E-06	r	1,7	50	8,33E-12
carga del DMM debido a la resistencia de entrada	L_{DMM}	1	1,0E-06	r	1,7	50	3,46E-13
resistor patrón ESI SR104, valor nominal 10 kohm	R_s	1	8,0E-07	n	2,0	50	1,60E-13
corrección debida al coef. de temp. de R_s	TC_{R_s}	1	2,0E-07	r	1,7	50	1,33E-14
corrección debida al coef. de potencia de R_s	PC_{R_s}	1	1,0E-10	r	1,7	50	3,33E-21
Incertidumbre combinada	u_c			$u (k=1)$		70	3,92E-06
Incertidumbre expandida	U			$U (95 \%)$	2,0		$\pm 7,81 \mu A/A$

(1) coeficiente de sensibilidad

(2) N: normal; R:rectangular

(3) grados de libertad

Tabla 8: Balance de incertidumbre para 100 μA CCCorriente: 100 μA CC

Fuente de incertidumbre	Símbolo	$C_i^{(1)}$	Valor (\pm)	Distribución ⁽²⁾	Factor	$\nu_i^{(3)}$	$C_i^2 \cdot u_i^2$
tensión medida con el DMM HP3458A, rango 1 V	U_{DMM}	1	3,0E-07	n	2,0	20	2,25E-14
corrección para el DMM HP3458A, rango 1 V	C_{DMM}	1	1,0E-06	n	2,0	50	2,50E-13
resolución del DMM HP3458A, rango 1 V	r_{DMM}	1	5,0E-09	r	1,7	50	8,33E-18
corrimiento del DMM HP3458A, rango 1 V	D_{DMM}	1	1,8E-06	r	1,7	50	1,08E-12
carga del DMM debido a la resistencia de entrada	L_{DMM}	1	5,0E-07	r	1,7	50	8,65E-14
resistor patrón ESI SR104, valor nominal 10 k Ω	R_s	1	8,0E-07	n	2,0	50	1,60E-13
corrección debida al coef. de temp. de R_s	TC_{R_s}	1	2,0E-07	r	1,7	50	1,33E-14
corrección debida al coef. de potencia de R_s	PC_{R_s}	1	1,0E-10	r	1,7	50	3,33E-21
Incertidumbre combinada	u_c			$u (k=1)$		103	1,27E-06
Incertidumbre expandida (k=2)	U			$U (k=1)$	2,0		$\pm 2,52 \mu A/A$

(1) coeficiente de sensibilidad

(2) N: normal; R:rectangular

(3) grados de libertad

Tabla 9: Balance de incertidumbre para 1 mA CC

Current: 1 mADC

Uncertainty source	Symbol	$C_i^{(1)}$	Value (\pm)	Distribution ⁽²⁾	Factor	$\nu_i^{(3)}$	$C_i^2 \cdot u_i^2$
voltage measured with the DMM HP3458A, range 1 V	U_{DMM}	1	3,0E-07	n	2,1	20	2,04E-14
correction of the DMM HP3458A, range 1 V	C_{DMM}	1	1,0E-06	n	2,0	50	2,50E-13
resolution of the DMM HP3458A, range 1 V	r_{DMM}	1	5,0E-09	r	1,7	50	8,33E-18
drift of the DMM HP3458A, range 1 V	D_{DMM}	1	1,8E-06	r	1,7	50	1,08E-12
loading of the DMM due to the input resistance	L_{DMM}	1	5,0E-08	r	1,7	50	8,65E-16
standard resistor L&N, nominal value 1 kohm	R_s	1	2,4E-06	n	2,0	50	1,44E-12
correction due to the temp. coefficient of R_s	TC_{R_s}	1	1,0E-06	r	1,7	50	3,33E-13
correction due to the power coefficient of R_s	PC_{R_s}	1	1,0E-06	r	1,7	50	3,33E-13
Combined Uncertainty	u_c			$u (k=1)$		170	1,86E-06
Expanded Uncertainty (k=2)	U			$U (95\%)$	2,0		$\pm 3,67 \mu A/A$

(1) sensitivity coefficient

(2) N: normal; R:rectangular

(3) degrees of freedom

PEE50: Agosto 2017

Tabla 10: Balance de incertidumbre para 10 mA CC

Corriente: 10 mA CC

Fuente de incertidumbre	Símbolo	$c_i^{(1)}$	Valor (\pm)	Distribución ⁽²⁾	Factor	$\nu_i^{(3)}$	$c_i^2 \cdot u_i^2$
tensión medida con el DMM HP3458A, rango 1 V	U_{DMM}	1	3.0E-07	n	2.1	20	2.04E-14
corrección del DMM HP3458A, rango 1 V	C_{DMM}	1	1.0E-06	n	2.0	50	2.50E-13
resolución del DMM HP3458A, rango 1 V	r_{DMM}	1	5.0E-09	r	1.7	50	8.33E-18
corrimiento del DMM HP3458A, rango 1 V	D_{DMM}	1	1.8E-06	r	1.7	50	1.08E-12
carga del DMM debida a la resistencia de entrada	L_{DMM}	1	5.0E-09	r	1.7	50	8.65E-18
resistor patrón L&N, valor nominal 100 Ω	Rs	1	2.6E-06	n	2.0	50	1.69E-12
corrección debida al coef. de temp. de Rs	TC_{Rs}	1	1.0E-06	r	1.7	50	3.33E-13
corrección debida al coef. de potencia de Rs	PC_{Rs}	1	1.0E-06	r	1.7	50	3.33E-13
Incertidumbre combinada	u_c			$u (k=1)$		159	1.93E-06
Incertidumbre expandida (k=2)	U			$U (95\%)$	2.0		$\pm 3.8 \mu A/A$

(1) coeficiente de sensibilidad

(2) N: normal; R: rectangular

(3) grados de libertad

Tabla 11: Balance de incertidumbre para 100 mA CC

Corriente: 100 mA CC

Fuente de incertidumbre	Símbolo	$c_i^{(1)}$	Valor (\pm)	Distribución ⁽²⁾	Factor	$\nu_i^{(3)}$	$c_i^2 \cdot u_i^2$
tensión medida con el DMM HP3458A, rango 1 V	U_{DMM}	1	3.0E-07	n	2.1	20	2.04E-14
corrección del DMM HP3458A, rango 1 V	C_{DMM}	1	1.0E-06	n	2.0	50	2.50E-13
resolución del DMM HP3458A, rango 1 V	r_{DMM}	1	5.0E-09	r	1.7	50	8.33E-18
corrimiento del DMM HP3458A, rango 1 V	D_{DMM}	1	1.8E-06	r	1.7	50	1.08E-12
carga del DMM debida a la resistencia de entrada	L_{DMM}	1	5.0E-10	r	1.7	50	8.65E-20
resistor patrón L&N, valor nominal 10 Ω	Rs	1	2.8E-06	n	2.0	50	1.96E-12
corrección debida al coef. de temp. de Rs	TC_{Rs}	1	1.0E-06	r	1.7	50	3.33E-13
corrección debida al coef. de potencia de Rs	PC_{Rs}	1	1.0E-06	r	1.7	50	3.33E-13
Incertidumbre combinada	u_c			$u (k=1)$		149	1.99E-06
Incertidumbre expandida (k=2)	U			$U (95\%)$	2.0		$\pm 3.94 \mu A/A$

(1) coeficiente de sensibilidad

(2) N: normal; R: rectangular

(3) grados de libertad

Tabla 12: Balance de incertidumbre para 1 A CC

Corriente: 1 A CC

Fuente de incertidumbre	Symbol	$c_i^{(1)}$	Value (\pm)	Distribution ⁽²⁾	Factor	$\nu_i^{(3)}$	$c_i^2 \cdot u_i^2$
tensión medida con el DMM HP3458A, rango 100 mV	U_{DMM}	1	1.0E-06	n	2.1	20	2.27E-13
corrección del DMM HP3458A, rango 100 mV	C_{DMM}	1	3.9E-06	n	2.0	50	3.80E-12
resolución del DMM HP3458A, rango 100 mV	r_{DMM}	1	5.0E-08	r	1.7	50	8.33E-16
corrimiento del DMM HP3458A, rango 100 mV	D_{DMM}	1	5.5E-06	r	1.7	50	1.01E-11
carga del DMM debida a la resistencia de entrada	L_{DMM}	1	5.0E-11	r	1.7	50	8.65E-22
resistor patrón L&N, valor nominal 0,1 Ω	Rs	1	4.0E-06	n	2.0	50	4.00E-12
corrección debida al coef. de temp. de Rs	TC_{Rs}	1	1.0E-06	r	1.7	50	3.33E-13
corrección debida al coef. de potencia de Rs	PC_{Rs}	1	3.0E-06	r	1.7	50	3.00E-12
Incertidumbre combinada	u_c			$u (k=1)$		163	4.63E-06
Incertidumbre expandida (k=2)	U			$U (95\%)$	2.0		$\pm 9.15 \mu A/A$

(1) coeficiente de sensibilidad

(2) N: normal; R: rectangular

(3) grados de libertad

Tabla 13: Balance de incertidumbre para 2 A CC

Current: 2 ADC

Uncertainty source	Symbol	$c_i^{(1)}$	Value (\pm)	Distribution ⁽²⁾	Factor	$\nu_i^{(3)}$	$c_i^2 \cdot u_i^2$
voltage measured with the DMM HP3458A, range 100 mV	U_{DMM}	1	1.0E-06	n	2.1	20	2.27E-13
correction of the DMM HP3458A, range 100 mV	C_{DMM}	1	3.9E-06	n	2.0	50	3.80E-12
resolution of the DMM HP3458A, range 100 mV	r_{DMM}	1	5.0E-08	r	1.7	50	8.33E-16
drift of the DMM HP3458A, range 100 mV	D_{DMM}	1	5.5E-06	r	1.7	50	1.01E-11
loading of the DMM due to the input resistance	L_{DMM}	1	5.0E-12	r	1.7	50	8.65E-24
standard resistor Wavetek 4953, nominal value 0,01 ohm	Rs	1	6.1E-06	n	2.0	50	9.30E-12
correction due to the temp. coefficient of Rs	TC_{Rs}	1	5.0E-06	r	1.7	50	8.33E-12
correction due to the power coefficient of Rs	PC_{Rs}	1	5.0E-06	r	1.7	50	8.33E-12
Combined Uncertainty	u_c			$u (k=1)$		235	6.33E-06
Expanded Uncertainty (k=2)	U			$U (95\%)$	2.0		$\pm 12.47 \mu A/A$

(1) sensitivity coefficient

(2) N: normal; R: rectangular

(3) degrees of freedom

PEE50: Agosto 2017

Tabla 14: Balance de incertidumbre para 10 A CC

Current: 10 ADC

Uncertainty source	Symbol	$C_i^{(1)}$	Value (\pm)	Distribution ⁽²⁾	Factor	$\eta_i^{(3)}$	$C_i^2 \cdot u_i^2$
voltage measured with the DMM HP3458A, range 100 mV	U_{DMM}	1	3.0E-06	n	2.1	20	2.04E-12
correction of the DMM HP3458A, range 100 mV	C_{DMM}	1	6.0E-06	n	2.0	50	9.00E-12
resolution of the DMM HP3458A, range 100 mV	r_{DMM}	1	5.0E-08	r	1.7	50	8.33E-16
drift of the DMM HP3458A, range 100 mV	D_{DMM}	1	5.5E-06	r	1.7	50	1.01E-11
loading of the DMM due to the input resistance	L_{DMM}	1	5.0E-12	r	1.7	50	8.65E-24
standard resistor Wavetek 4953, nominal value 0,01 ohm	R_s	1	6.1E-06	n	2.0	50	9.30E-12
correction due to the temp. coefficient of R_s	TC_{R_s}	1	1.0E-05	r	1.7	50	3.33E-11
Combined Uncertainty	u_c			$u (k=1)$		146	7.99E-06
Expanded Uncertainty (k=2)	U			$U (95\%)$	2.0		$\pm 15.78 \mu A/A$

(1) sensitivity coefficient

(2) N: normal; R: rectangular

(3) degrees of freedom

Tabla 15: Balance de incertidumbre para 20 A CC

Corriente: 20 ADC

Fuente de incertidumbre	Símbolo	$C_i^{(1)}$	Valor (\pm)	Distribución ⁽²⁾	Factor	$\eta_i^{(3)}$	$C_i^2 \cdot u_i^2$
Tensión medida con DMM HP3458A, rango 100 mV	U_{DMM}	1	3.0E-06	n	2.1	20	2.04E-12
corrección del DMM HP3458A, rango 100 mV	C_{DMM}	1	6.0E-06	n	2.0	50	9.00E-12
resolución del DMM HP3458A, rango 100 mV	r_{DMM}	1	5.0E-08	r	1.7	50	8.33E-16
drift del DMM HP3458A, rango 100 mV	D_{DMM}	1	5.5E-06	r	1.7	50	1.01E-11
carga del DMM debido a la resistencia de entrada	L_{DMM}	1	5.0E-13	r	1.7	50	8.65E-26
resistor patrón L&N 4223, valor nominal 0,001 ohm	R_s	1	2.3E-05	n	2.0	50	1.32E-10
corrección por coeficiente de temperatura de R_s	TC_{R_s}	1	1.0E-05	r	1.7	50	3.33E-11
corrección por coeficiente de potencia de R_s	PC_{R_s}	1	2.0E-05	r	1.7	50	1.33E-10
Combined Uncertainty	u_c			$u (k=1)$		140	1.79E-05
Expanded Uncertainty (k=2)	U			$U (95\%)$	2.0		$\pm 35.37 \mu A/A$

(1) coeficiente de sensibilidad

(2) n: normal; r: rectangular

(3) grados de libertad

7.8. Descripción del sistema para la función tensión alterna: 0,1 a 1000 VCA

Convertidores térmicos de tensión de fabricación propia se conectan a los terminales de salida del calibrador Fluke 5700A/5720A.

El calibrador se utiliza para generar la tensión alterna desconocida y la tensión continua conocida. La secuencia de medición es CA1, CC+, CA2, CC-, CA3. Un nanovoltímetro KEITHLEY 182 mide la salida del TVC. Se registran los dos valores medios de salida de CC, U_{odc} y los tres de CA U_{oac} . El valor de CC se ajusta hasta que U_{odc} esté dentro del intervalo $U_{oac} \pm t$ donde t es una tolerancia predefinida, habitualmente $50 \mu V/V$.

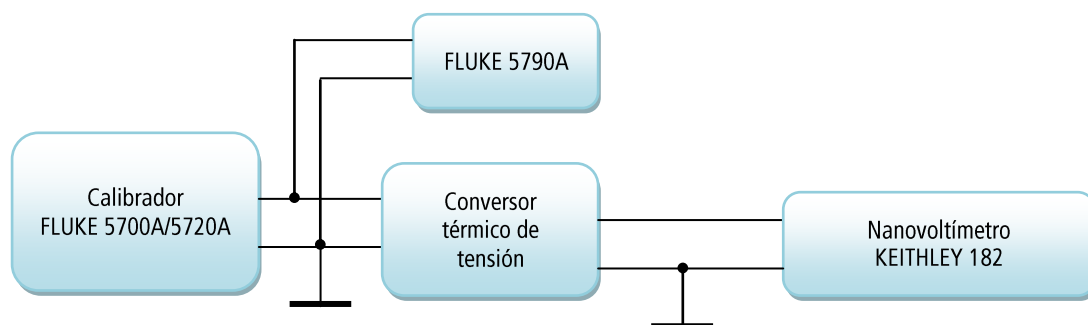


Figura 6

PEE50: Agosto 2017

La salida del calibrador, con tensión de CA, se calcula como sigue:

7.8.1. Incertidumbre: Modelo matemático y balances de incertidumbre

Modelo matemático

$$U'_{ac} = U_{dc} \cdot (1 + r_{dc}) \cdot (1 + C_{dc}) \cdot (1 + d_{dc}) \cdot (1 + \Delta) \cdot (1 + \delta)$$

$$\Delta = \frac{U_{oac} - U_{odc}}{n \cdot U_{odc}}$$

Donde:

U_{dc} = valor de tensión de CC seleccionado en el calibrador FLUKE 5700A/5720A

r_{dc} = resolución en CC del calibrador.

U'_{ac} = tensión de salida en CA del calibrador, con el Fluke 5790A y el TVC conectados.

C_{dc} = corrección del calibrador DCV.

d_{dc} = corrección debida al corrimiento en la tensión de CC del calibrador.

n = exponente característico del TVC.

δ = diferencia en la transferencia AC-DC del TVC.

Δ = diferencia relativa de las tensiones de salida, con entradas AC y DC dividida por n . Para que la medición sea aceptable tiene que estar por debajo de 25 $\mu V/V$. Por consiguiente, si la incertidumbre estándar de Δ debe permanecer por debajo de 1 $\mu V/V$, n debe conocerse con una incertidumbre estándar de 0,1 %.

Se realizan diez mediciones para cada frecuencia. A continuación, se desconecta el conversor TVC, registrándose la diferencia en la indicación del Fluke 5790A con y sin dicho TVC, utilizándose dicha diferencia como corrección. Por consecuencia, la salida del calibrador para cada frecuencia es:

$$U_{ac} = U'_{ac} - C_{LTVC}$$

U_{ac} = tensión de salida de CA del calibrador, con el Fluke 5790A conectado y el TVC desconectado.

U'_{ac} = tensión de salida de CA del calibrador con el Fluke 5790A y el TVC conectados ambos.

C_{LTVC} = corrección debida al efecto de carga del TVC.

Este efecto de carga no juega ningún papel en baja frecuencia, pero puede llegar hasta 70 $\mu V/V$ para 1 MHz.

A 100 mV, desempeña un papel importante en todas las frecuencias debido a la alta impedancia de salida del calibrador FLUKE 5700A/5720A.

PEE50: Agosto 2017

Balances de incertidumbre

Tabla 16: Balance de incertidumbre para 10 V, 1 kHz

Tensión= 10 V, 1 kHz. Incertidumbres absolutas

Fuente de incertidumbre	Símbolo	$C_i^{(1)}$		Valor (\pm)	Distribución ⁽²⁾	Factor	$\nu_i^{(3)}$	$C_i^2 \cdot u_i^2$	
Tensión continua del calibrador	U_{dc}	1		1,5E-05 V	n	2,3	9	4,25E-11	V ²
Resolución del calibrador en DC	r_{dc}	10	V	5,0E-08	r	1,7	50	8,33E-14	V ²
Corrección en DC del calibrador	C_{dc}	10	V	1,0E-06	n	2,0	50	2,50E-11	V ²
Corrimiento en DC del calibrador	d_{dc}	10	V	1,0E-06	r	1,7	50	3,33E-11	V ²
Diferencia relativa de la salida del TVC	Δ	10	V	1,0E-06	n	2,0	50	2,50E-11	V ²
Diferencia de transferencia AC/DC del TVC	δ	10	V	6,0E-06	n	2,0	50	9,00E-10	V ²
Corrección debida al efecto de carga del TVC	C_{LVTC}	1		1,5E-05 V	n	2,3	9	4,25E-11	V ²
Incertidumbre combinada	u_c				$u (k=1)$		inf	3,27E-05	V
Incertidumbre expandida (k=2)	U				$U (95\%)$	2,0		$\pm 0,07$	mV

(1) coeficientes de sensibilidad

relativa

$$U = \pm 7 \mu V/V$$

(2) N: normal; R: rectangular

(2) grados de libertad

Tabla 17: Balance de incertidumbre para 10 V, 1 MHz

Tensión = 10 V - 1 MHz - Incertidumbres absolutas

Fuente de incertidumbre	Símbolo	$C_i^{(1)}$		Valor (\pm)	Distribución ⁽²⁾	Factor	$\nu_i^{(3)}$	$C_i^2 \cdot u_i^2$	
tensión del calibrador CC	U_{dc}	1		6,0E-05 V	n	2,3	9	6,81E-10	V ²
resolución del calibrador en CC	r_{dc}	10	V	5,0E-08	r	1,7	50	8,33E-14	V ²
corrección en CC del calibrador	C_{dc}	10	V	1,0E-06	n	2,0	50	2,50E-11	V ²
corrimiento del calibrador en CC	d_{dc}	10	V	1,0E-06	r	1,7	50	3,33E-11	V ²
diferencia relativa de la salida del TVC	Δ	10	V	1,0E-06	n	2,0	50	2,50E-11	V ²
diferencia de transferencia AC-DC del TVC	δ	10	V	6,0E-05	n	2,0	50	9,00E-08	V ²
corrección debida al efecto de carga del TVC	C_{LVTC}	1		7,0E-07 V	n	2,3	9	9,26E-14	V ²
Incertidumbre combinada	u_c				$u (k=1)$		inf	3,01E-04	V ²
Incertidumbre expandida (k=2)	U				$U (95\%)$	2,0		$\pm 0,6$	mV

(1) coeficientes de sensibilidad

relativa

$$U = \pm 60 \mu V/V$$

(2) N: normal; R: rectangular

(2) grados de libertad

PEE50: Agosto 2017

Utilizando el mismo procedimiento obtenemos:

U [V]	f [kHz]	U [$\mu V/V$]
0,1...1	0,01	30
	0,055	30
	1	30
	20	30
	100	65
	1000	220
1	0,01	7
	0,055	7
	1	7
	20	7
	100	12
	1000	40
1...10	0,01	10
	0,02	7
	0,055	7
	1	7
	20	7
	100	20
10...100	0,01	15
	0,055	15
	1	15
	20	15
	100	40
	1000	60
100...1000	0,01	25
	0,055	25
	1	25
	10	25
	20	30
	50	50
	100	200

Incertidumbres expandidas ($k=2$)

7.9. Descripción del sistema para la función corriente alterna

Conversores térmicos de corriente de fabricación propia (TCC) se conectan directamente a los terminales de salida del calibrador FLUKE 5700A/5720A. El calibrador se utiliza para generar la CA desconocida y la CC conocida. La secuencia de medición es CA1, CC+, CA2, CC-, CA3. Un nanovoltímetro KEITHLEY 182 mide la salida del TCC. Se registran los dos valores medios de CC, U_{odc} y los tres de CA, U_{oac} . Se ajusta la CC hasta que su salida U_{odc} esté dentro del intervalo $\pm t$ de U_{oac} , donde t es una tolerancia predefinida, habitualmente $50 \mu V/V$.

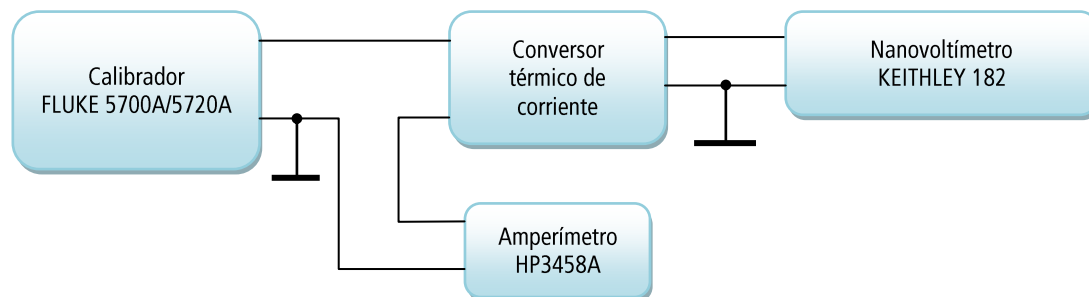


Figura 7

7.9.1. Incertidumbre: Modelo matemático y balances de incertidumbre

Modelo matemático

$$I'_{ac} = I_{dc} \cdot (1 + r_{dc}) \cdot (1 + C_{dc}) \cdot (1 + d_{dc}) \cdot (1 + \Delta) \cdot (1 + \delta)$$

PEE50: Agosto 2017

$$\Delta = \frac{U_{\text{oac}} - U_{\text{odc}}}{n \cdot U_{\text{odc}}}$$

donde:

I_{dc} = valor de CC seleccionado para el calibrador FLUKE 5700A/5720A.

r_{dc} = resolución del calibrador en CC.

I'_{ac} = corriente de salida del calibrador en CA con el amperímetro y el TCC conectados ambos en serie.

C_{dc} = corrección DCI del calibrador.

d_{dc} = corrección del corrimiento en la salida de CC del calibrador.

n = exponente de la característica del TCC.

δ = diferencia de transferencia AC-DC del TCC.

Δ = diferencia relativa de las tensiones de salida, con entradas CC y CA dividida por n . Para que la medición sea aceptable, debe estar por debajo de 25 $\mu\text{V/V}$. Por consiguiente, si la incertidumbre estándar de Δ debe permanecer por debajo de 1 $\mu\text{V/V}$, n debe conocerse con una incertidumbre estándar de 0,1%.

Se realizan diez mediciones para cada frecuencia con el TCC conectando el amperímetro a calibrar en serie. A continuación, se cortocircuita el conversor TCC, registrándose la diferencia en la indicación del amperímetro con y sin el TCC mencionado, utilizándose dicha diferencia como corrección. Por consecuencia, la corriente de salida del calibrador para cada frecuencia es:

$$I_{ac} = I'_{ac} - C_{LTCC}$$

I_{ac} = corriente de salida de CA del calibrador, con el amperímetro conectado y el TCC cortocircuitado.

I'_{ac} = corriente de salida de CA del calibrador con el amperímetro y el TCC conectados ambos en serie.

C_{LTCC} = corrección debida al efecto de carga del TCC.

Balance de incertidumbre

Tabla 19: Balance de incertidumbre para 10 mA, 1 kHz

Current = 10 mA - 1 kHz - Absolute uncertainty

Uncertainty source	Symbol	$C_i^{(1)}$		Value (\pm)		Distribution ⁽²⁾	Factor	$v_i^{(3)}$	$C_i^2 \cdot u_i^2$	
calibrator's dc current	I_{dc}	1		4,0E-08	A	n	2,3	9	3,02E-16	A ²
calibrator's dc resolution	r_{dc}	0,01	A	3,0E-07		r	1,7	50	3,00E-18	A ²
calibrator's dc correction	C_{dc}	0,01	A	1,0E-06		n	2,0	50	2,50E-17	A ²
calibrator's dc drift	d_{dc}	0,01	A	8,0E-07		r	1,7	50	2,13E-17	A ²
TVC's output relative difference	Δ	0,01	A	1,0E-06		n	2,0	50	2,50E-17	A ²
TVC's ac-dc transfer difference	δ	0,01	A	1,0E-06		n	2,0	50	2,50E-17	A ²
correction due to the TVC's loading effect	u_c	0,01	A	1,0E-06		n	2,0	50	2,50E-17	A ²
Incridumbre combinada	u_c					u (k=1)		inf	2,00E-08	A
Incridumbre expandida (k=2)	U					U (95%)	2,0		± 0	μA

(1) sensibility coefficients

(2) N: normal; R: rectangular

(2) degrees of freedom

relative

$U = \pm 4 \mu\text{A/A}$

PEE50: Agosto 2017

Tabla 20: Balance de incertidumbre para 10 A, 10 kHz

Uncertainty source	Symbol	$c_i^{(1)}$		Value (\pm)	Distribution ⁽²⁾	Factor	$n_i^{(3)}$	$c_i^2 \cdot u_i^2$	
calibrator's dc voltage	I_{dc}	10		1.0E-06	n	2.3	9	1.89E-11	A ²
calibrator's dc resolution	r_{dc}	10	A	7.0E-06	r	1.7	50	1.63E-09	A ²
calibrator's dc correction	C_{dc}	10	A	3.5E-06	n	2.0	50	3.06E-10	A ²
calibrator's dc drift	d_{dc}	10	A	4.0E-06	r	1.7	50	5.33E-10	A ²
TVC's output relative difference	Δ	10	A	1.0E-06	n	2.0	50	2.50E-11	A ²
TVC's ac-dc transfer difference	δ	10	A	2.5E-06	n	2.0	50	1.56E-10	A ²
correction due to the TVC's loading effect	u_c	10	A	7.2E-05	n	2.0	50	1.30E-07	A ²
Incertidumbre combinada	u_c				u (k=1)		inf	3.64E-04	A
Incertidumbre expandida (k=2)	U				U (95%)	2.0		± 727.4	μA

relative

 $U = \pm 73 \mu A/A$

(1) sensibility coefficients

Utilizando el mismo procedimiento, obtenemos:

Tabla 21

CORRIENTE	FRECUENCIA (kHz)										
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,055	0,5	1	5	10	20	30
3 mA	8	8	8	8	8	8	5	8	16	30	32
3 mA a 10 mA	7	7	7	7	7	7	4	8	16	30	32
10 mA a 100 mA	8	10	10	10	10	10	8	12	40	55	60
0,1 A a 1 A	12	12	12	12	12	12	12	16	45	60	65
1 A a 5 A	30	30	30	30	30	30	25	30	75		
5 A a 10 A	40	40	40	40	40	40	40	50	100		

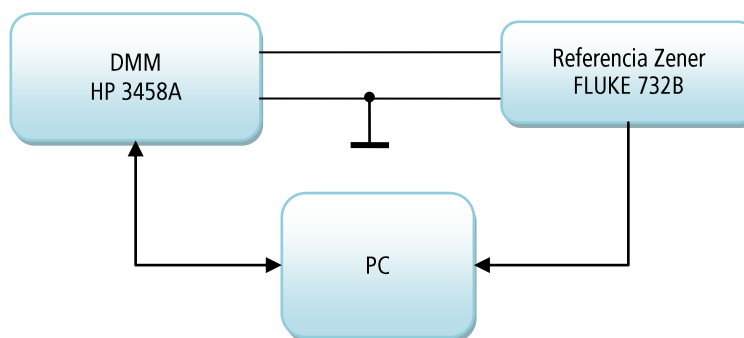
Incertidumbres expandidas (k=2)

Las incertidumbres de calibración obtenidas son válidas únicamente si se corrige el efecto de carga del termoconversor de corriente utilizado y si se especifica las condiciones de carga del calibrador bajo prueba. De no ser así, la incertidumbre de calibración se elevará notablemente, especialmente con cargas inductivas y/o alta frecuencia.

PEE50: Agosto 2017

8. Alternativa II: Método automático**8.1. Tensión continua - Descripción del método****8.1.1. Programa: 57xxVI**

Se conecta el calibrador y un multímetro HP3458A a la PC. Se debe disponer de una referencia Zener Fluke 732B calibrada.



El programa de calibración:

Genera un archivo donde se almacenarán los valores de cero de los rangos de con U_B 100 mV a 1000 V del multímetro y los de las correcciones de los rangos de 1 V a 1000 V del mismo.

Genera un archivo donde se almacenarán los valores calibrados del calibrador.

Resetea los instrumentos y limpia las líneas. Hace el self test del HP3458A y, si la diferencia entre la temperatura actual y la de calibración es menor o igual a 5 °C hace ACAL DCV, en caso contrario espera hasta que esté dentro de los 5 °C. Configura el 3458 con NDIG 8 y NPLC100.

Pide conectar un cortocircuito en la punta del cable con el que se van a hacer las mediciones. Mide 10 veces el valor de cero del rango de 100 mV del HP3458A y calcula el valor medio y la incertidumbre de tipo A. Calcula la incertidumbre de tipo B del multímetro, combinando la de exactitud del rango con la de resolución y la asociada con la temperatura. Calcula la incertidumbre total expandida del punto combinando U_A con U_B y almacena este valor en una constante.

Repite el paso anterior para los rangos restantes.

Pone al multímetro en el rango de 1 V y solicita retirar el cortocircuito y conectar la salida de 1 V del zener. Mide el valor 10 veces, calcula el valor medio y U_A . Calcula la corrección relativa del HP3458A en 1 V como:

$$\text{Correccion del rango} = \frac{(\text{Valor calibrado del zener} - \text{Valor medido del zener})}{\text{Valor calibrado del zener}}$$

Calcula el componente U_B de incertidumbre debido a:

- la incertidumbre de la calibración del zener
- la asociada con la deriva del zener durante el tiempo transcurrido desde su última calibración.
- la asociada con la medición de la temperatura ambiente
- la influencia de la variación de la temperatura ambiente en la lectura del multímetro
- la influencia de la variación de la temperatura del zener en su valor
- la resolución del HP3458A

Calcula la incertidumbre total expandida de la corrección de rango combinando U_B con el U_A y almacena el valor en una constante.

PEE50: Agosto 2017

Pide invertir los cables de conexión del zener y repite el procedimiento para

-1 V. Con la misma metodología calcula la corrección relativa del HP3458A en -1 V.

Solicita mover los cables desde el zener al calibrador para medir sus salidas de ± 100 mV del rango de 220 mV del Fluke 5700A/5720A, en el rango de 1 V ya corregido del multímetro.

Calcula el valor medio y u_A

Calcula los valores correspondientes como:

$$\text{Valor Calibrado} = \text{Valor medido} * (1 + \text{Corrección del rango}) \quad [V]$$

Calcula la incertidumbre de tipo B combinando las asociadas con la corrección de rango, la de la transferencia a 10 minutos, la de resolución y de temperatura del multímetro, y de la temperatura del calibrador y la combina con la de tipo A de la medición.

Con los valores calibrados de ± 100 mV se corrige el rango de 100 mV del multímetro.

Con la corrección en ± 100 mV del multímetro y siguiendo el mismo procedimiento, calibra las salidas de 10 mV, 50 mV y 200 mV del rango de 220 mV del calibrador Fluke 5700A/5720A. En el cálculo de la incertidumbre asociada con los valores calibrados se incluye, a los ya mencionados, la correspondiente a la linealidad del multímetro.

Con la corrección de ± 1 V del multímetro, calibra los puntos ± 100 mV, 500 mV y ± 1 V del rango de 2.2 V del calibrador Fluke 5700A/5720A.

Solicita mover los cables de conexión del calibrador al zener, salida 10 V. Con este valor y la misma metodología, corrige ± 10 V del rango de 10 V y ± 100 V del rango de 100 V del multímetro.

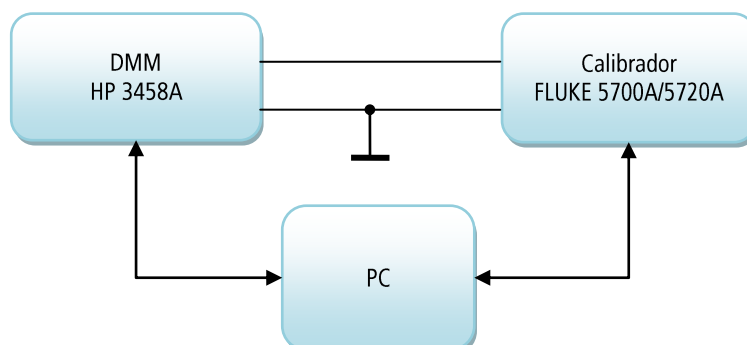
Solicita mover los cables de conexión del zener al calibrador, fija su rango de 11 V y verifica su linealidad. En el cálculo de la incertidumbre asociada con los valores calibrados se incluye a los ya mencionados, la correspondiente a la linealidad del multímetro.

Fija el rango del calibrador en 22 V y calibra las salidas de ± 10 y 20 V. En el cálculo de la incertidumbre asociada con los valores calibrados se incluye a los ya mencionados, la correspondiente a la linealidad del multímetro. (Ver anexo 1).

Fija el rango del calibrador en 220 V y calibra las salidas de 50 V y ± 100 V. En el cálculo de la incertidumbre asociada con los valores calibrados se incluye a los ya mencionados, la correspondiente a la linealidad del multímetro. (Ver anexo 1).

Con el valor de ± 100 V del calibrador recientemente calibrado, corrige el rango de 1000 V del multímetro y con este rango corregido se calibran las salidas de 200 V, 500 V, 700 V y ± 1000 V del calibrador. En el cálculo de la incertidumbre asociada con los valores calibrados se incluye a los ya mencionados, la correspondiente a la linealidad del multímetro.

Ejemplos:



PEE50: Agosto 2017

Tabla 22: Balance de incertidumbre en la corrección de ± 1 V del multímetro

HP3458A: Correccion rango de 1 V								
Fuente de incertidumbre	$c_i^{(1)}$	Valor (\pm)	Distribución ⁽²⁾	Factor	$n_i^{(3)}$	u_i	u_i^2	Porcent.
Medicion del zener 732B (Tipo A)	1,00	1,50E-07	n	2,0	5	7,50E-08	5,63E-15	46,95
Calibracion del zener 732B	1,00	1,00E-07	n	2,0	10000	5,00E-08	2,50E-15	20,87
Drift no corregido del zener 732B	1,00	5,50E-08	r	1,7	10000	3,18E-08	1,01E-15	8,42
Temperatura del zener 732B	1,00	1,00E-07	-	-	10000	1,67E-08	2,78E-16	2,32
Temperatura del multímetro	1,00	2,50E-07	-	-	10000	4,17E-08	1,74E-15	14,49
Resolucion HP3458A	1,00	5,00E-08	r	1,7	10000	2,89E-08	8,33E-16	6,96
Incertidumbre combinada			$u(k=1)$		23	1,09E-07	1,20E-14	100,00
Incertidumbre expandida (k=2)			$U(95\%)$		2,1	2,27E-07	V	
(1) coeficiente de sensibilidad						$\Delta t=$	0,5	
(2) n: normal; r:rectangular								
(3) grados de libertad								

Tabla 23: Balance de incertidumbre para la calibración de ± 1 V del calibrador

Fluke 5700A/5720A: Calibración 1 V

Fuente de incertidumbre	$c_i^{(1)}$	Valor (\pm)	Distribución ⁽²⁾	Factor	$n_i^{(3)}$	u_i	u_i^2	Porcent.
Medicion del calibrador (Tipo A)	1.00	1.50E-07	n	1.0	5	1.50E-07	2.25E-14	23.50
Temperatura del calibrador	1.00	4.00E-07	-	-	10000	6.67E-08	4.44E-15	4.64
Corrección rango 1V del HP3458A	1.00	2.27E-07	n	2.0	10000	1.13E-07	1.29E-14	13.46
Transferencia del HP3458	1.00	4.00E-07	r	1.7	10000	2.31E-07	5.33E-14	55.71
Temperatura del multímetro	1.00	2.50E-07	-	-	10000	4.17E-08	1.74E-15	1.81
Resolucion HP3458A	1.00	5.00E-08	r	1.7	10000	2.89E-08	8.33E-16	0.87
Incertidumbre combinada			N (1s)		90	3.09E-07	9.57E-14	100.00
Incertidumbre expandida (k=2)			N (95%)		2.0	6.15E-07		
						$\Delta t=$	0.5	

Tabla 24: Balance de incertidumbre para la calibración de $\pm 0,1$ V del calibrador

Fluke 5700A/5720A: Calibración 0,1 V

Fuente de incertidumbre	$c_i^{(1)}$	Valor (\pm)	Distribución ⁽²⁾	Factor	$n_i^{(3)}$	u_i	u_i^2	Porcent.
Medicion del calibrador (Tipo A)	1,00	2,00E-07	n	1,0	5	2,00E-07	4,00E-14	5,82
Temperatura del calibrador	1,00	1,40E-06	-	-	10000	2,33E-07	5,44E-14	7,92
Corrección rango 1V del HP3458A	1,00	2,27E-07	n	2,0	10000	1,26E-07	1,58E-14	2,30
Linealidad del HP3458A	1,00	1,30E-06	r	1,7	10000	7,51E-07	5,63E-13	81,91
Transferencia del HP3458	1,00	4,00E-07	r	1,7	10000	2,31E-07	5,33E-14	7,75
Temperatura del multímetro	1,00	2,50E-07	-	-	10000	4,17E-08	1,74E-15	0,25
Resolucion HP3458A	1,00	5,00E-08	r	1,7	10000	2,89E-08	8,33E-16	0,12
Incertidumbre combinada			u (k=1)		2553	8,29E-07	6,88E-13	100,00
Incertidumbre expandida (k=2)			U (95%)		2,0	1,63E-06		
						$\Delta t=$	0.5	

Incertidumbres típicas asociadas con los valores calibrados de tensión continua para calibradores tipo Fluke 5700A/5720A.

PEE50: Agosto 2017

Utilizando el mismo procedimiento obtenemos:
Tabla 25

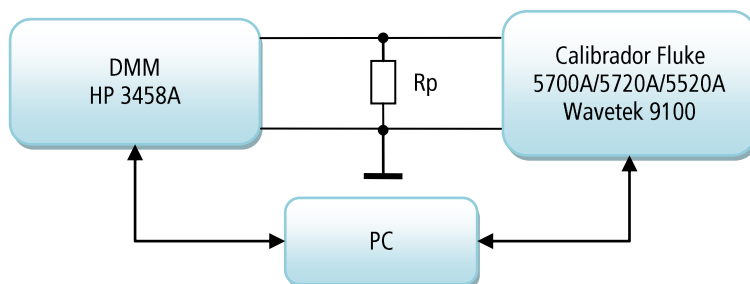
Rango 5700A/5720A	Valor nominal	U (k=2) [μ V/V]
220 mV	10 mV	2,5
	50 mV	2,0
	100 mV	2,0
	-100 mV	2,0
	200 mV	1,0
2,2 V	0,1 V	2,0
	-0,1 V	2,0
	0,5 V	1,0
	1 V	0,6
	-1 V	0,6
11 V	1 V	0,6
	-1 V	0,6
	2 V	0,7
	3 V	0,7
	4 V	0,7
	5 V	0,7
	6 V	0,7
	7 V	0,7
	8 V	0,7
	9 V	0,7
	10 V	0,6
22 V	-10 V	0,6
	10,99999 V	0,6
	10 V	0,6
220 V	-10 V	0,6
	20 V	1,5
	50 V	1,5
	100 V	1,5
1000 V	-100 V	1,5
	200 V	2,5
	500 V	3,0
	700 V	4,0
	1000 V	6,3
	-1000 V	6,3

Este procedimiento se aplica a la calibración de tensión continua de calibradores multiproducto Fluke 5520A, en sus salidas normal y auxiliar. Para calibradores de mediana exactitud de tipo Fluke 5500A, Fluke 5100, Wavetek 9100, Meatest 140, o similares se miden las salidas que genera el calibrador bajo prueba con un voltímetro previamente calibrado de acuerdo al PEE51 sin hacer correcciones en los valores medidos ya que la relación de incertidumbres entre el voltímetro utilizado como referencia y el calibrador a ser medido es suficiente.

8.2. Corriente continua. Descripción del método

8.2.2. Programa: 57xxVI

Se conecta el calibrador y un multímetro HP3458A a la PC. Se debe disponer de resistores patrón de los valores especificados en la tabla que sigue.



La calibración se efectúa inmediatamente después de la calibración en DCV a los efectos de utilizar las correcciones obtenidas para el multímetro HP3458A, dado que la calibración en corriente continua se lleva a cabo midiendo con el mismo las caídas de tensión producidas por las corrientes a calibrar sobre resistores patrón de valores adecuados. En todos los casos, para el cálculo de la incertidumbre tipo B asociada con cada uno de los valores calibrados se consideran las incertidumbres de:

- Calibración, variación de temperatura y drift del patrón.
- corrección de rango, transferencia, resolución, efecto de carga y temperatura del multímetro.
- Cuando corresponda, linealidad del multímetro.
- temperatura del calibrador.

PEE50: Agosto 2017

Se combina la u_b calculada, con la u_A del valor medio de 10 mediciones efectuadas para cada punto.

La tabla que sigue muestra las incertidumbres típicas asociadas con los valores calibrados en calibradores tipo Fluke 5700A/5720A.

Tabla 26

Rango	Valor nominal	U (k=2) [$\mu\text{A/A}$]	R _P
220 μA	10 μA	12	10 $\text{k}\Omega$
	-10 μA	12	
	100 μA	3	
	-100 μA	3	
	200 μA	4	
2,2 mA	0,5 mA	4	1 $\text{k}\Omega$
	1 mA	4	
	-1 mA	4	
	2 mA	3	
22 mA	5 mA	3	100 Ω
	10 mA	2	
	-10 mA	2	
	20 mA	2	
220 mA	50 mA	2	10 Ω
	100 mA	2	
	-100 mA	2	
	200 mA	9	
2,2 A	0,5 A	8	0,1 Ω
	1 A	7	
	-1 A	7	
	2 A	11	
	-2 A	11	0,01 Ω

Para calibradores multiproducto tipo Fluke 5500A, Fluke 5520A, Wavetek 9100A las incertidumbres de calibración para corrientes mayores a 2 A son las siguientes:

VALOR NOMINAL	U (k=2) [$\mu\text{A/A}$]
>2A a 3 A	50
>3 A a 10 A	180
>10 A a 20 A	1400

Este procedimiento se aplica a la calibración de corriente continua de calibradores multiproducto Fluke 5520A, en su salida auxiliar. Para calibradores de mediana exactitud de tipo Fluke 5500A, Fluke 5100, Wavetek 9100, Meatest M-140, o similares se miden las corrientes de salida que genera el calibrador bajo prueba con resistores derivadores de valores apropiados para cada rango y un voltímetro previamente calibrado de acuerdo al PEE51, sin hacer correcciones en los valores medidos ya que la relación de incertidumbres entre los elementos utilizados como referencia y el calibrador a ser medido es adecuada.

PEE50: Agosto 2017

Ejemplos: Tabla 27: Balance de incertidumbre en la calibración de 10 mA

Fluke 5700A/5720A: Calibración 10 mA

Fuente de incertidumbre	$c_i^{(1)}$	Valor (\pm)	Distribución ⁽²⁾	Factor	$n_i^{(3)}$	u_i	u_i^2	Porcent
Calibración de Rp	1,00	2,00E-07	n	2,0	10000	1,00E-07	1,00E-14	1,80
Drift de Rp	1,00	4,00E-08	r	1,7	10000	2,31E-08	5,33E-16	0,10
Temperatura de Rp	1,00	1,30E-05	-	-	10000	8,67E-08	7,51E-15	1,35
Medicion de Rp (Tipo A)	1,00	5,00E-07	n	1,0	5	5,00E-07	2,50E-13	44,91
Temperatura del calibrador	1,00	3,00E-06	-	-	10000	5,00E-07	2,50E-13	44,91
Corrección rango 1V del HP3458A	1,00	2,51E-07	n	2,0	10000	1,26E-07	1,58E-14	2,84
Transferencia del HP3458A	1,00	4,00E-07	r	2,0	10000	2,00E-07	4,00E-14	7,19
Carga del HP3458A	1,00	1,00E-08	r	1,7	10000	5,77E-09	3,33E-17	0,01
Resolucion HP3458A	1,00	5,00E-08	r	1,7	10000	2,89E-08	8,33E-16	0,15
Incertidumbre combinada			u ($k=1$)		25	7,46E-07	5,57E-13	100,00
Incertidumbre expandida ($k=2$)			U (95%)		2,1	1,54E-06		

 $\Delta t_{amb} = 0,5$ $\Delta t_{pat} = 0,02$

8.3. Calibración en resistencia. Descripción del método

8.3.1. Programas: TodoR y Rsup10k

TodoR calibra todos los valores de resistencia, desde 1 Ω a 100 M Ω . Se debe disponer de resistores patrón de 1 Ω , 100 Ω , 10 k Ω , una caja Hamon de transferencia de 1 M Ω /paso, un multímetro HP3458A como elemento de transferencia, una termoresistencia y multímetros HP3458A y HP34420A para la medición de temperatura.

Secuencia del programa:

- Corrección del rango de 10 Ω del HP3458A con el resistor de 1 Ω .
- Corrección de los rangos de 100 Ω y 1 k Ω con el resistor de 100 Ω .
- Corrección de los rangos de 10 k Ω y 100 k Ω con el resistor de 10 k Ω .
- Calibración de la caja Hamon de 1 M Ω /paso en configuración paralelo.
- Corrección de los rangos de 1 M Ω y 10 M Ω con la caja anteriormente calibrada, en configuración serie-paralelo y serie, respectivamente.
- Calibración de las salidas de 1 Ω a 10 M Ω del calibrador, con sensado externo, midiendo resistencia a cuatro terminales con el multímetro recientemente calibrado.
- Calibración de las salidas de 19 M Ω a 100 M Ω en el rango de 10 M Ω del multímetro, a dos terminales y sensado interno, usando la caja de transferencia de 1 M Ω /paso en configuración serie, conectada en paralelo, sobre los bornes de salida del calibrador.

RSup10k se lo utiliza como complemento de la calibración manual de las salidas de 1 Ω a 19 k Ω con comparador de corrientes. Calibra las salidas de resistencia de 10 k Ω a 100 M Ω . Se debe disponer de un resistor de 10 k Ω , una caja Hamon de transferencia de 1 M Ω /paso, un multímetro HP3458A como elemento de transferencia, una termoresistencia y multímetros HP3458A y HP34420A para la medición de temperatura.

Secuencia del programa: la descrita en los puntos 8.3.1.3 a 8.3.1.7.

Componentes de incertidumbre considerados en ambos programas

En la corrección de los rangos del multímetro HP3458A usando un resistor patrón, de valor calibrado:

- La de calibración del patrón
- La del patrón, debido a la variación de temperatura durante la medición.

PEE50: Agosto 2017

- La del patrón, por drift durante el tiempo transcurrido desde la calibración.
- La del multímetro HP3458A, por variación de la temperatura ambiente durante la medición
- La del multímetro HP3458A, por resolución.
- La estadística U_a

En la calibración de la caja Hamon

- La corrección del rango del multímetro HP3458A.
- La de transferencia del multímetro HP3458A. Consideramos la décima parte de la especificación a 24 h del multímetro para ese rango
- Cuando corresponda, la de linealidad del HP3458A
- La de resolución del multímetro HP3458A.
- La del multímetro HP3458A, por la diferencia entre la temperatura de corrección del rango y la actual.
- La de la caja Hamon, por variación de la temperatura durante su calibración
- La estadística U_a

En las correcciones de rango con las cajas Hamon

- La de calibración de la caja
- La de la caja, por diferencia entre la temperatura de calibración y la de uso.
- La de la caja, por variaciones de temperatura durante la medición.
- La de la caja ESI, por cambio de configuración
- La del multímetro HP3458A por variación de la temperatura durante la medición.
- La del multímetro HP3458A por resolución.
- La estadística U_a

En la calibración de las salidas del calibrador:

- La de la corrección del rango del multímetro HP3458A.
- La de transferencia del multímetro HP3458A en el rango utilizado (1/10 de la especificación a 24 h)
- La del multímetro HP3458A por resolución.
- Cuando corresponda, la de linealidad del HP3458A
- La del calibrador 5700A/5720A por variación de temperatura durante la medición
- La del multímetro HP3458A por diferencia entre la temperatura de corrección de rango y la de medición
- La estadística U_a

PEE50: Agosto 2017

8.3.2. Ejemplos de cálculo de incertidumbre

Tabla 28: Calibración de 100 k Ω Correccion de rango de 100 k Ω del HP3458A

Fuente de incert.	c_i^2	Valor (\pm)	Distribucion	Factor	v_i	u_i	$c_i^2 u_i^2$	Porcent.	
Calibracion patron	1,00	5,00E-07	n	2,0	10000	2,50E-07	6,25E-14	15,07	
Drift no corregido patron	1,00	4,50E-08	r	1,7	10000	2,60E-08	6,75E-16	0,16	
Medicion (Tipo A)	1,00	5,00E-07	n	1,0	5	5,00E-07	2,50E-13	60,26	
Temperatura patron	1,00	-8,00E-08	-	-	10000	-4,62E-09	2,13E-17	0,01	
Temperatura multímetro	1,00	1,10E-06	-	-	10000	3,18E-07	1,01E-13	24,31	
Resolucion HP3458A	1,00	5,00E-08	r	1,7	10000	2,89E-08	8,33E-16	0,20	
Incertidumbre combinada					u (k=1)	14	6,44E-07	4,15E-13	100,00
Incertidumbre expandida (k=2)					U (95%)	2,2	1,39E-06		

 $\Delta t_{\text{patron}} = 0,1$ $\Delta t_{\text{ambiente}} = 0,5$ Medicion del calibrador, salida 100 k Ω

Fuente de incert.	c_i^2	Valor (\pm)	Distribucion	Factor	v_i	u_i	$c_i^2 u_i^2$	Porcent.	
Medicion (Tipo A)	1,00	5,00E-07	n	1,0	5	5,00E-07	2,50E-13	15,91	
Correccion HP3458A	1,00	1,39E-06	n	2,0	10000	6,96E-07	4,84E-13	30,81	
Transferencia HP3458	1,00	2,20E-07	r	1,7	10000	1,27E-07	1,61E-14	1,03	
Temperatura HP3458	1,00	1,10E-06	r	1,7	10001	6,35E-07	4,03E-13	25,67	
Resolucion HP3458A	1,00	5,00E-08	r	1,7	10000	2,89E-08	8,33E-16	0,05	
Linealidad HP3458A	1,00	5,00E-07	r	1,7	10000	2,89E-07	8,33E-14	5,30	
Temperatura del calibrador	1,00	2,00E-06	-	-	10000	5,77E-07	3,33E-13	21,22	
Incertidumbre combinada					u (k=1)	106	1,07E-06	1,57E-12	100,00
Incertidumbre expandida (k=2)					U (95%)	2,0	2,13E-06		

 $\Delta t = 0,5$

8.3.3. Incertidumbres típicas asociadas con los valores calibrados de resistencia para un calibrador tipo Fluke 5720A/5720A

Utilizando el programa TodoR: Tabla 29:

Valor nominal	U k=2 [$\mu\Omega/\Omega$]
1 Ohm	3,0
1,9 Ohm	7,6
10 Ohm	5,7
19 Ohm	5,2
100 Ohm	2,0
190 Ohm	2,0
1 kOhm	2,0
1,9 kOhm	2,0
10 kOhm	1,0
19 kOhm	2,0
100 kOhm	2,5
190 kOhm	3,0
1 MOhm	4,0
1,9 MOhm	7
10 MOhm	9
19 MOhm	90
100 MOhm	60

PEE50: Agosto 2017

Utilizando método manual hasta 19 k Ω en conjunción con Rsup10k (Procedimiento de menor incertidumbre) Tabla 30:

Valor nominal	U k=2 [$\mu\Omega/\Omega$]
1 Ω	3,0
1,9 Ω	3,0
10 Ω	1,5
19 Ω	1,5
100 Ω	1,5
190 Ω	1,5
1 k Ω	1,5
1,9 k Ω	1,5
10 k Ω	0,5
19 k Ω	1,0
100 k Ω	2,5
190 k Ω	3,0
1 M Ω	4,0
1,9 M Ω	7
10 M Ω	9
19 M Ω	90
100 M Ω	60

Este procedimiento se aplica a la calibración de resistencia de calibradores multiproducto Fluke 5520A. Para calibradores de mediana exactitud de tipo Fluke 5500A, Fluke 5100, Wavetek 9100, Meatest 140, o similares se miden los valores de resistencia de salida que genera el calibrador bajo prueba con un multímetro previamente calibrado de acuerdo al PEE51 sin hacer correcciones en los valores medidos ya que la relación de incertidumbres entre los elementos utilizados como referencia y el calibrador a ser medido es suficiente.

Para calibradores multiproducto tipo Fluke 5500A, 5520A, Wavetek 9100A las incertidumbres de calibración para valores mayores a 100 M Ω son las siguientes:

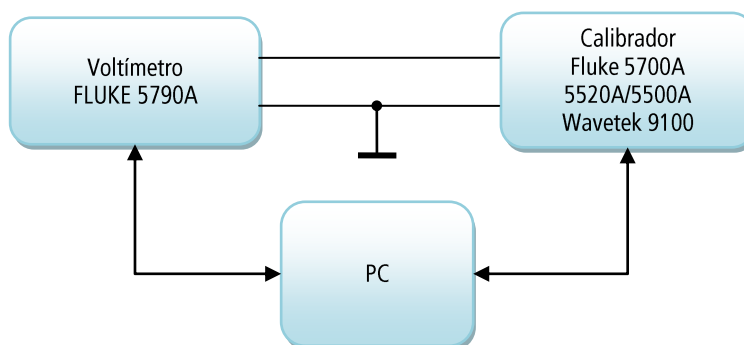
VALOR NOMINAL	U (k=2) [$\mu\Omega/\Omega$]
>100 M Ω a 300 M Ω	100
>300 M Ω a 1,1 G Ω	480

8.4. Tensión alterna

8.4.1. Descripción del método

Programa: calibración 5700.vi

Se conecta el calibrador y un voltímetro Fluke 5790A a la PC. Se debe disponer del voltímetro Fluke



5790A calibrado.

Al programa se le ingresan los valores nominales de tensión y frecuencia a medir, el número de mediciones, típicamente 10.

PEE50: Agosto 2017

Muestra los resultados parciales y finales del valor calibrado con su desvío e incertidumbre estadística. En una planilla de cálculo Excel se ingresa el valor medido por el voltímetro, su corrección, incertidumbre de calibración tipo B, el corrimiento a la fecha de calibración obtenido de su historia y la incertidumbre estadística tipo A.

Se obtiene el valor calibrado, el desvío y la incertidumbre expandida para $k=2$ de cada punto de tensión alterna del calibrador Fluke 5700A/5720A.

Ejemplos de cálculo de incertidumbre

Tabla 31: Calibración de 1 V a 1 kHz

5790A: Calibración en 1 V								
Fuente de incertidumbre	c_i^2	Valor (\pm)	Distribución	Factor	v_i	u_i	$c_i^2 u_i^2$	Porcent.
Calibración 5700	1,00	7,00E-06	n	2,0	10000	3,50E-06	1,23E-11	91,57
Drift no corregido 5700	1,00	4,50E-07	r	1,7	10000	2,60E-07	6,75E-14	0,50
Medición (Tipo A)	1,00	2,00E-07	n	1,0	10	2,00E-07	4,00E-14	0,30
Temperatura 5700	1,00	3,00E-06	-	-	10000	8,66E-07	7,50E-13	5,61
Temperatura 5790A	1,00	1,50E-06	-	-	10000	4,33E-07	1,88E-13	1,40
Resolución 5790A	1,00	5,00E-07	r	1,7	10000	2,89E-07	8,33E-14	0,62
Incertidumbre combinada			u ($k=1$)		11754	3,66E-06	1,34E-11	100,00
Incertidumbre expandida ($k=2$)			U (95%)	2,0		7,17E-06		
(1) coeficiente de sensibilidad						$\Delta_{\text{ambiente}} = 0,5$		
(2) n: normal; r:rectangular								
(3) grados de libertad								

5700A: Calibración en 1 V								
Fuente de incertidumbre	c_i^2	Valor (\pm)	Distribución	Factor	v_i	u_i	$c_i^2 u_i^2$	Porcent.
Calibración 5790A	1,00	7,17E-06	n	2,0	30	3,58E-06	1,29E-11	91,93
Drift no corregido 5700	1,00	4,50E-07	r	1,7	10000	2,60E-07	6,75E-14	0,48
Medición (Tipo A)	1,00	2,00E-07	n	1,0	30	2,00E-07	4,00E-14	0,29
Temperatura 5700	1,00	3,00E-06	-	-	10000	8,66E-07	7,50E-13	5,37
Temperatura 5790A	1,00	1,50E-06	-	-	10000	4,33E-07	1,88E-13	1,34
Resolución 5790A	1,00	5,00E-07	r	1,7	10000	2,89E-07	8,33E-14	0,60
Incertidumbre combinada			u ($k=1$)		35	3,74E-06	1,40E-11	100,00
Incertidumbre expandida ($k=2$)			U (95%)	2,0		7,59E-06		
(1) coeficiente de sensibilidad						$\Delta_{\text{ambiente}} = 0,5$		
(2) n: normal; r:rectangular								
(3) grados de libertad								

Este procedimiento se aplica a la calibración de tensión alterna de calibradores multiproducto Fluke 5520A, en su salidas normal y auxiliar. Para calibradores de mediana exactitud de tipo Fluke 5500A, Fluke 5100, Wavetek 9100, Meatest M-140, o similares se miden las tensiones de salida que genera el calibrador bajo prueba con un voltímetro previamente calibrado de acuerdo al PEE51 sin hacer correcciones en los valores medidos ya que la relación de incertidumbres entre los elementos utilizados como referencia y el calibrador a ser medido es suficiente.

PEE50: Agosto 2017

Utilizando el mismo procedimiento obtenemos las siguientes incertidumbres para calibradores tipo Fluke 5700A/5720A.

Tabla 32

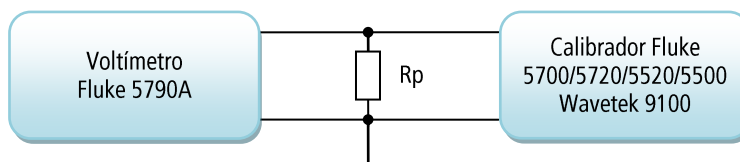
	FRECUENCIA (kHz)																
TENSIÓN	0,01	0,02	0,03	0,04	0,055	0,5	1	10	20	50	70	100	200	300	500	700	1000
0,1 V	100	100	100	80	80	80	80	80	80	100	100	100	100	100	200	300	500
0,5 V	100	100	100	80	40	40	40	40	40	60	100	100	100	100	150	250	500
1 V	20	12	12	12	12	12	10	10	12	16	20	25	30	55	55	100	250
5 V	40	20	12	12	12	12	12	12	12	20	30	70	80	80	100	130	250
10 V	20	12	12	10	10	10	10	12	12	20	20	30	60	80	80	125	200
50 V	40	20	20	20	30	30	30	30	30	40	50	80	100	100			
75 V	50	50	50	45	30	30	30	30	40	60	60	70	100				
100 V	50	50	50	45	20	20	45	45	50	60	60	60					
300 a 1000 V					35	35	35										

8.5. Calibración en corriente alterna con resistores derivadores y voltímetro Fluke 5790A. Descripción del método

Se conecta un resistor derivador patrón de valor apropiado calibrado a los bornes de salida del calibrador, cuya corriente alterna se quiere determinar, y un voltímetro Fluke 5790A sobre los bornes de tensión del resistor mencionado.

La corriente se calcula como:

$$\text{Valor calibrado} = \frac{\text{Valor medido de tensión} * (1 + \text{corrección 5790A})}{\text{Valor calibrado de } R_p}$$



Ejemplos de cálculo de incertidumbre

Tabla 33: Calibración de 100 mA 1 kHz

5700A: Calibración rango de 100 mA 1 kHz

Fuente de incertidumbre	c_i^2	Valor (\pm)	Distribución	Factor	v_i	u_i	$c_i^2 u_i^2$	Porcent.
Calibración 5790A	1,00	8,00E-06	n	2,0	10000	4,00E-06	1,60E-11	15,73
Drift no corregido 5790A	1,00	2,00E-06	r	1,7	10000	1,15E-06	1,33E-12	1,31
Medición (Tipo A)	1,00	4,00E-06	n	1,0	5	4,00E-06	1,60E-11	15,73
Temperatura 5700A	1,00	3,00E-06	-	-	10000	8,66E-07	7,50E-13	0,74
Temperatura 5790A	1,00	1,50E-06	-	-	10000	4,33E-07	1,88E-13	0,18
Resolución 5790A	1,00	5,00E-07	r	1,7	10000	2,89E-07	8,33E-14	0,08
Calibración del shunt	1,00	6,00E-06	n	2,0	10	3,00E-06	9,00E-12	8,85
Drift no corregido del shunt	1,00	1,00E-05	n	2,0	10000	5,00E-06	2,50E-11	24,59
Temperatura del shunt	1,00	1,00E-05	-	-	10000	2,89E-06	8,33E-12	8,20
Transferencia AC/DC del shunt	1,00	1,00E-05	n	2,0	10000	5,00E-06	2,50E-11	24,59
Incertidumbre combinada	u (k=1)				32	6,58E-06	1,02E-10	100,00
Incertidumbre expandida (k=2)	U (95%)				2,0	1,34E-05		

(1) coeficiente de sensibilidad

 $\Delta_{\text{ambiente}} = 0,5$

(2) n: normal; r: rectangular

(3) grados de libertad

PEE50: Agosto 2017

En una planilla de cálculo Excel se ingresa el valor medido por el voltímetro, su corrección, incertidumbre de calibración tipo B, el corrimiento a la fecha de calibración obtenido de su historia y la incertidumbre estadística tipo A.

También se ingresa el valor del resistor derivador, su incertidumbre de calibración tipo B, el corrimiento a la fecha de calibración obtenido de su historia y la incertidumbre estadística tipo A.

Se obtiene el valor calibrado, el desvío y la incertidumbre expandida para $k=2$ de cada punto de corriente alterna del calibrador Fluke 5700A/5720A.

Utilizando el mismo procedimiento y las especificaciones del voltímetro Fluke 5790A en lugar de su incertidumbre de calibración, obtenemos las siguientes incertidumbres para calibradores tipo Fluke 5700A/5720A.

Tabla 34

Rango 5700A	Valor nominal	Frecuencia	U (k=2) ($\mu A/A$)
22 mA	10 mA	20 Hz	120
		55 Hz	80
		1 kHz	80
		5 kHz	120
		10 kHz	150
	20 mA	20 Hz	120
		55 Hz	80
		1 kHz	80
		5 kHz	120
		10 kHz	150
220 mA	100 mA	20 Hz	120
		55 Hz	80
		1 kHz	80
		5 kHz	120
		10 kHz	150
	200 mA	20 Hz	120
		55 Hz	80
		1 kHz	80
		5 kHz	120
		10 kHz	150
2,2 A	1 A	20 Hz	120
		55 Hz	100
		1 kHz	100
		5 kHz	120
		10 kHz	150
	2 A	20 Hz	120
		55 Hz	100
		1 kHz	100
		5 kHz	120
		10 kHz	150

Este procedimiento se aplica a la calibración de corriente alterna de calibradores multiproducto Fluke 5520A, en su salida auxiliar. Para calibradores de mediana exactitud de tipo Fluke 5500A, Fluke 5100, Wavetek 9100, Meatest M-140, o similares se miden las corrientes de salida que genera el calibrador bajo prueba con resistores derivadores de valores apropiados y un voltímetro Fluke 5790A previamente calibrado de acuerdo al PEE51 sin hacer correcciones en los valores medidos ya que la relación de incertidumbres entre los elementos utilizados como referencia y el calibrador a ser medido es suficiente.

PEE50: Agosto 2017

9. Identificación y almacenaje

Los calibradores multifunción o multiproducto a calibrarse, se identifican de acuerdo a las instrucciones del Manual de la Calidad del INTI- Física y Metrología y se guardan, desde que llegan hasta que se devuelven al cliente, en el Área de Calibradores y Resistores, laboratorio 3. Ver capítulo 10 del Manual de la Calidad. Una vez calibrados, los calibradores permanecen en el laboratorio 3 ó 6 hasta su devolución al cliente.

10. Instrumentos a utilizarse

- Referencia patrón de transferencia de tensión continua Fluke 732B, N° 6215015, N° 7598804, N° 1203705.
- Multímetro digital Hewlett Packard HP3458A, N° 2823A11565, N° 2823A11567, N° 2823A22086, N° 2823A25774, Agilent 3458A, N° US28033200, MY45044466.
- Multímetro digital Hewlett Packard HP34420A, N° US 36001616, N° US36002419, Agilent N° US36002400, o N° MY42001298.
- Multímetro digital Wavetek Datron 1281A N° 28911.
- Multímetro digital Fluke 8508A N° 991358629.
- Nanovoltímetro Keithley 182, N° 0574079 o N° 517684.
- Voltímetro digital Fluke 5790A, N° 8520034.
- Conjunto de conversores térmicos de tensión y corriente descritos en los procedimientos PEE21 y PEE22.
- Contador Fluke PM6665/036, NO SM 640961 NC 44606665036; contador Goldstar FC-2130U N° 401236, contador Agilent 53132A N° MY40008034; contador Hewlett Packard 53131A N° 3736A22970.
- Divisor de tensión Kelvin Varley Fluke 720A, N° 7736026 y N° 925001.
- Divisor de tensión Kelvin Varley ESI RV722, N° 141003.
- Divisor de tensión Fluke 752A, N° 7736026.
- Caja Hamon de transferencia de resistencia de 1 M Ω /paso ESI SR1050, N° de serie 128002.
- Caja Hamon de transferencia de resistencia de 10 k Ω /paso ESI SR1010, N° de serie 109001.
- Resistor patrón de 1 G Ω , Gamma 1-1G, Gamma 2-1G, Gamma 3-1G, Gamma 4-1G de fabricación propia.
- Resistor patrón de 100 M Ω , Gamma 1-100M, Gamma 2-100M, Gamma 3-100M, Gamma 4-100M de fabricación propia.
- Resistor patrón de 19 M Ω Fluke 742A-19, N° 5740002.
- Resistor patrón de 10 M Ω , Gamma 1-10M, Gamma 2-10M de fabricación propia.
- Resistor patrón de 1 M Ω , MI 9331/1M, N° 1100598.
- Resistor patrón de 100 k Ω y 1 M Ω G13-100, de fabricación propia.
- Resistor patrón de 10 k Ω ESI SR104, N° F202018730104 y N° 460037.
- Resistor patrón de 10 k Ω Fluke742A-10k, N° 5800010.
- Resistor patrón de 10 k Ω Leeds & Northrup, N° 1867646.
- Resistor patrón de 1 k Ω Leeds & Northrup, N° 1872120.
- Resistor patrón de 100 Ω Leeds & Northrup, N° 1876608 y N° 1590953.
- Resistor patrón de 100 Ω Fluke742A-100, N° 7576001 y N° 2797011.

PEE50: Agosto 2017

- Resistor patrón de 10 Ω Leeds & Northrup, N° 1871488 y N° 1579038.
- Resistor patrón de 1 Ω Fluke 742A-1, N° 7575001; N° 5780008 y N° 2822002.
- Resistor patrón de 1 Ω H&B N° 481375.
- Resistor patrón de 0,1 Ω Leeds & Northrup, N° 1587101.
- Resistor patrón de 0,01 Ω Leeds & Northrup, N° 1875648.
- Shunt Fluke A 40, 50 mA, N° 2165006.
- Shunt Fluke A 40, 100 mA, N° 2240004.
- Shunt Fluke A 40, 200 mA, N° 2126006.
- Shunt Fluke A 40, 500 mA, N° 2230006.
- Shunt Fluke A 40, 1 A, N° 2230003.
- Shunt 5 A (II), de fabricación propia.
- Shunt 10 A (II), de fabricación propia.
- Shunt de 0,01 Ω , 10 A, Wavetek 4953, N° 28130.
- Shunt Fluke A 40B, de 10 A, N° 316169902.
- Shunt Fluke A 40B, de 20 A, N° 316169903.
- Shunt múltiple de 20 A, 50 A y 100 A H&B N° 6626398.
- Resistor General Radio, GR1440, de 1 Ω , N° 8697.
- Resistor General Radio, GR1440, de 10 Ω , N° 8552.
- Resistor General Radio, GR1440, de 100 Ω , N° 8580.
- Resistor General Radio, GR1440, de 1 k Ω , N° 8637.
- Baño de aceite de temperatura constante marca Guildline, modelo 9730CR, N° 44060.

11. Condiciones ambientales

Durante la calibración la temperatura ambiente del laboratorio debe estar comprendida entre $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$ y la humedad relativa ambiente entre 30 % y 70 %.

12. Registros de la Calidad

Las notas y observaciones escritas originales, copia u originales de las salidas de computadora (cuando corresponda), copia de los certificados emitidos, como así también copia de la orden de trabajo, registro de salida de instrumentos y toda otra documentación relacionada, se conservan de acuerdo al Capítulo 11 del Manual de la Calidad del INTI - Física y Metrología.

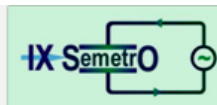
13. Precauciones

Según lo previsto en el decreto 937/74, artículo 1, sección d, es considerada ésta una tarea riesgosa. Por tanto, deben tomarse las precauciones necesarias para evitar el shock eléctrico. Las operaciones de cambio de conexión deben llevarse a cabo con todos los circuitos de tensión y corriente desconectados.

14. Apéndices y anexos

ANEXO N°	TÍTULO
1	Linalidad del rango de 100 V de multímetro digital HP3458A

PEE50 Anexo 1: Agosto 2017

Linealidad del rango de 100 V en tensión eléctrica continua de multímetro digital HP3458A**LINEARITY OF 100 V RANGE HP3458A DIGITAL MULTIMETER***Ricardo García¹, Lucas Di Lillo², Andrés Torán², Jorge Cioffi²*¹Retired, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, INTI, Argentina, garcia-levi@arnet.com.ar²Instituto Nacional de Tecnología Industrial, INTI, Argentina, ldili@inti.gob.ar²Instituto Nacional de Tecnología Industrial, INTI, Argentina, adtoran@inti.gob.ar²Instituto Nacional de Tecnología Industrial, INTI, Argentina, jcioffi@inti.gob.ar

Abstract: this paper introduce to a description of an automatic method for verifying the linearity of the 100 DCV range of an HP3458A multimeter.

Key words: linearity, digital multimeter, multifunction calibrator.

1. INTRODUCTION

Many times we use the linearity specification of the HP3458A at the laboratory as a component of the uncertainty budget for DC voltage calibrations, for example, multifunction calibrators.

We were wondering ourselves how to prove the linearity with measurements, and not only be realized from the manufacturer specifications.

For 100 mV and 1 V ranges of the DMM this tasks was done by means of the Josephson array as a reference.

It applied known voltages steps to each of those ranges with good enough repeatability and uncertainties to reach what the manufacturer published in the manual as 10 min. transfer/linearity specs.

For the 10 V range another NMIs have proved the same by means of a 10 V Josephson array, as we have at INTI a 1 V Josephson system.

The challenge for us was to verify the linearity specs for the 100 V range.

2. MEASUREMENT PROCESS

To know the linearity of the 100 V range of a HP3458A DMM, very well known voltages, to be applied as reference, are needed.

To accomplished this task we characterized a multifunction calibrator in the 220 V range using the 10 V output of a zener voltage reference Fluke 732B and a DMM.

We tried with a Fluke 5700A and also with a 5720A.

This last one show better results concerning the stability.

We also have measures with two different HP3458A.

The measurement sequence is shown in table 1:

5720 nominal value [V]	732B zener [V]	HP3458A Measured value [V]
0	10	10
10	0	10
10	10	20
20	0	20
20	10	30
30	0	30
30	10	40
40	0	40
40	10	50
50	0	50
50	10	60
60	0	60
60	10	70
70	0	70
70	10	80
80	0	80
80	10	90
90	0	90
90	10	100
100	0	100
100	10	110
110	0	110
110	10	120
120	0	120

Table 1: measurement sequence

The first measure is applying 10 V nominal from the zener reference to correct the 10 V nominal reading of the 100 V range of the HP3458A. Then the zener is removed from the circuit. The calibrator generates 10 V and a second reading of the DMM, but from the 10 V of the calibrator, is

PEE50 Anexo 1: Agosto 2017

obtained. Then by means of that correction, the 10 V value of the Fluke 5720A is known.

Then that 10 V known from the calibrator are connected in series with the zener. The 20 V, which result from that addition, are measured by the DMM and have a new correction for it. Then the zener is removed from the circuit. A value for the 20 V of the calibrator is applied and measured by the DMM. By means of that last correction of the DMM the 20 V from the calibrator is known.

Using the same step up procedure, of getting a voltage reference, having a correction for the DMM, adding the 10 V nominal in series from the zener to obtain the next step for the calibrator, applying it to the DMM, getting a new correction, it continues up to 120 V, that is the over range for the 100 V range of the DMM.

Once all the sequence is finished, the 220 V range of the Fluke 5720A multifunction calibrator is known up to 120 V. When the whole procedure is finished, all that steps of reference values from the calibrator are get and the linearity of the 100 V range of the DMM, that was our target, is obtained.

Fig. 1 shows a schematic connection of the involved instruments.

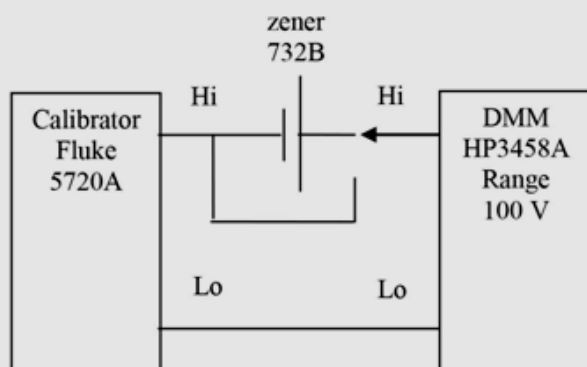


Fig.1: schematic connections

3. CONCLUSION

A method for characterization of a multifunction calibrator to be used in short term as a reference to calibrate the 100 DCV range of a HP3458A DMM was described.

As a result it has the advantage of not only verify the transfer/linearity 10min. specs for the DMM as was detailed as the target.

Additionally the accuracy and linearity up to 120 V of the 220 DCV of a Fluke 5720A multifunction calibrator could be obtained as well.

Details analysis will be presented in the full paper.

BIBLIOGRAFY

- [1] HP3458A calibration manual
- [2] Fluke 5720A series II calibration manual
- [3] Fluke 732B operator manual