

Instituto Nacional  
de Tecnología Industrial

Centro de Desarrollo e Investigación  
en Física y Metrología

Procedimiento específico: PEE24

## **CALIBRACIÓN DE PATRONES DE TRANSFERENCIA DE TENSIÓN AC-DC - (BAJAS TENSIONES)**

Revisión: Julio 2012

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.


## PEE24 Lista de enmiendas: Junio 2012

[illegible]


PEE24 Índice: Junio 2012

NOMBRE DEL CAPÍTULO	REVISIÓN
Índice	Junio 2012
CALIBRACIÓN DE PATRONES DE TRANSFERENCIA DE TENSIÓN AC-DC - (BAJAS TENSIONES)	Junio 2012

PREPARADO POR

FIRMA Y SELLO  
  
 Eliana Yasuda

REVISADO POR

FIRMA Y SELLO  


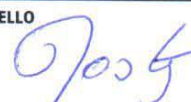
Lic. LUCAS D. DI LILLO  
 COOR. ELECTRICIDAD  
 FÍSICA Y METROLOGÍA  
 INTI

REVISADO POR

FIRMA Y SELLO  


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

APROBADO POR

FIRMA Y SELLO  


Ing. JUAN A. FORASTIERI  
 DIRECTOR TÉCNICO  
 INTI - FÍSICA Y METROLOGÍA

PEE24: Junio 2012

## 1. Objeto

Establecer los métodos de calibración para patrones de transferencia de tensión AC-DC.

## 2. Alcance

Patrones de transferencia de tensión AC-DC, dentro de los siguientes rangos:

Tensión: 10 mV ... 100 mV; frecuencia: 10 Hz ... 1 MHz

Forma de onda = sinusoidal

## 3. Definiciones y abreviaturas

Se encuentran en el Apéndice 1, en el Manual de la Calidad y en el Plan de la Calidad.

## 4. Referencias

Ver Apéndice 1.

## 5. Responsabilidades

- **Del Coordinador de la Unidad Técnica Electricidad**

Supervisa el desarrollo de la calibración, verifica el cumplimiento del procedimiento y revisa los resultados.

- **Del Personal del Laboratorio**

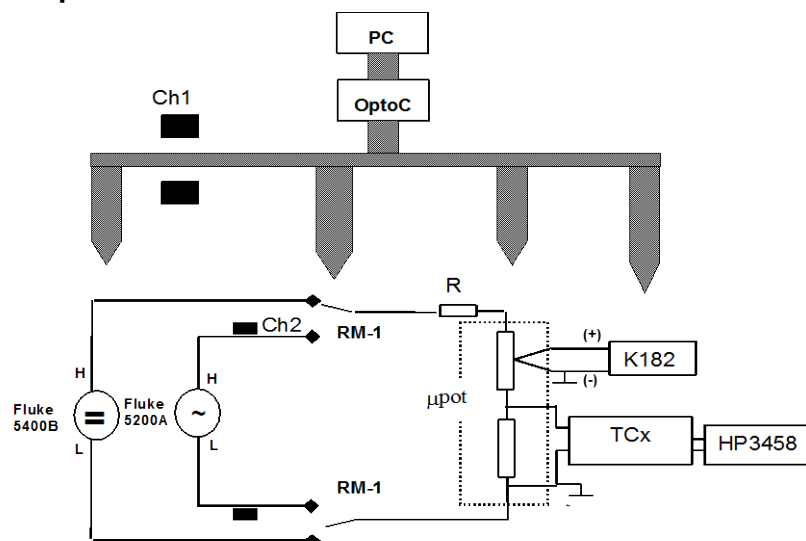
Efectúa la calibración, aplica el presente procedimiento de calibración, procesa los datos correspondientes y elabora el certificado de calibración.

## 6. Instrucciones

### 6.1. Descripción del sistema para tensiones desde 0,010 V a 0,100 V frecuencias desde 10 Hz a 1 MHz

Para la calibración de termoconvertores en las tensiones y frecuencias mencionadas, dos métodos pueden ser utilizados.

- **Micropotenciométrico**



RM-1 = reles de mercurio controlados por computadora.

PEE24: Junio 2012

Ch1, Ch2 = bobinas coaxiales.  
 TCx = conversor térmico incógnita Fluke 792A  
 $\mu$ pot = Micropotenciómetro patrón.  
 K182 = Nanovoltímetro Keithley 182.  
 HP 3458 = Multímetro digital Hewlett Packard 3458A  
 OptoC = Optoacoplador IOTECH.  
 Fluke 5440B = Calibrador de tensión continua Fluke 5440B.  
 Fluke 5200A = Calibrador de tensión alterna Fluke 5200A.  
 R = Resistencia.

En el caso de calibrar un Fluke 5790, no es necesario conectar el HP 3458 de la figura. Las lecturas de tensiones se realizan directamente con el Fluke 5790.

El funcionamiento del sistema es totalmente automático, mediante una PC, utilizando el programa dedicado identificado como "TENSION.vi" que en su pantalla principal dice "PROGRAMA DE CALIBRACION DE TERMOCONVERSORES EN TENSION versión 1.0". El programa establece para el nanovoltímetro:

- SLOW para el filtro digital y ON para el filtro analógico, si la frecuencia de medición es menor que 40 Hz.
- MEDIUM para el filtro digital y ON para el filtro analógico, si la frecuencia de medición es mayor o igual que 40 Hz.

La fuente Fluke 5200A tiene que tener las siguientes conexiones.

- Los bornes de GUARDA y TIERRA tienen que estar conectados entre si y a su vez conectados a la tierra de jabalina.
- El conector OUTPUT LO tiene que estar conectado a tierra.
- La fuente Fluke 5400B tiene que tener las siguientes conexiones.
- Los bornes de Guarda y Tierra tienen que estar conectados entre si y a su vez conectados a tierra de jabalina.

Cuando se realizan las mediciones con el micropotenciómetro, un adaptador debe utilizarse entre la entrada de tensión y el micropotenciómetro para poder conectar el LO de la fuente, ya sea de AC o de DC a tierra.

### **Incertidumbre: Modelo Matemático y Balance de Incertidumbre para la medición realizada con micropotenciómetros**

#### **Modelo Matemático**

$$\delta_x = \delta_d + \delta_s \quad (1.1)$$

donde  $\delta_s$  es

$$\delta_s = \delta_{\mu pot} + \delta_{Zi} + \delta_{conexionado} + \delta_{TK} + \delta_{nivel} \quad (1.2)$$

y  $\delta_d$  es la diferencia calculada como

$$\delta_d = \frac{(U_{odcx} - U_{oacx})}{n_x \cdot U_{odcx}} - \frac{(U_{odcs} - U_{oacs})}{n_s \cdot U_{odcs}} \quad (1.3)$$

En la formula (1.2),  $\delta_{\mu pot}$  es la diferencia AC-DC del micropotenciómetro,  $\delta_{Zi}$  es la corrección por la impedancia de entrada,  $\delta_{conexionado}$  es la diferencia AC-DC debido al conexionado,  $\delta_{TK}$  es la diferencia AC-DC debido al coeficiente térmico del patrón y  $\delta_{nivel}$  es la diferencia AC-DC del patrón debido a su utilización fuera del punto de calibración.

En la fórmula (1.3),  $n_x$  es el exponente del patrón,  $U_{odcx}$  y  $U_{oacx}$  son las tensiones de salida de la incógnita y  $U_{odcs}$  y  $U_{oacs}$  las tensiones de salida del patrón, con tensión de entrada tanto en CC como en CA.

PEE24: Junio 2012

### Balance de Incertidumbre

De acuerdo con la ecuación (1.1), la incertidumbre combinada en la determinación de  $\delta_x$  es

$$u^2(\delta_x) = u^2(\delta_d) + u^2(\delta_s) \quad (1.4)$$

donde  $u^2(\delta_s)$  es la incertidumbre del patrón y  $u^2(\delta_d)$  es la incertidumbre de la medición, por lo tanto

**Cálculo de  $u(\delta_d)$**

$$u^2(\delta_d) = u^2(\delta_A) + u^2(\delta_C) \quad (1.5)$$

donde

$u(\delta_A)$  = es la incertidumbre de tipo A. Es la desviación estándar de las mediciones y

$u(\delta_C)$  = es la incertidumbre del sistema de medición.

**Cálculo de  $u(\delta_C)$**

$$u^2(\delta_C) = \left( -\frac{1}{n_x^2} \right)^2 \cdot u^2(n_x) - \left( \frac{U_{0acx}}{n_x \cdot U_{0dcx}} \right)^2 \cdot u^2(n_x) - \left( \frac{1}{n_x \cdot U_{0dcx}} \right)^2 \cdot u^2(U_{0acx}) - \left( \frac{U_{0acx}}{n_x \cdot U_{0dcx}^2} \right)^2 \cdot u^2(U_{0dcx}) \\ - \left( -\frac{1}{n_s^2} \right)^2 \cdot u^2(n_s) - \left( \frac{U_{0acs}}{n_s \cdot U_{0dcs}} \right)^2 \cdot u^2(n_s) - \left( \frac{1}{n_s \cdot U_{0dcs}} \right)^2 \cdot u^2(U_{0acs}) - \left( \frac{U_{0acs}}{n_s \cdot U_{0dcs}^2} \right)^2 \cdot u^2(U_{0dcs}) \quad (1.6)$$

Suponiendo que  $U_{0acx} \cong U_{0dcx}$  y  $U_{0acs} \cong U_{0dcs}$ , resulta que  $u^2(U_{0acx}) \cong u^2(U_{0dcx})$  y

que  $u^2(U_{0acs}) \cong u^2(U_{0dcs})$  con lo cual, la ecuación (1.6) queda la siguiente forma

$$u^2(\delta_C) = \left( \frac{1}{n_x^2} \right)^2 \cdot u^2(n_x) - \left( \frac{U_{0acx}}{n_x \cdot U_{0dcx}} \right)^2 \cdot u^2(n_x) - \left( \frac{1}{n_x^2 \cdot U_{0dcx}^2} \right) [u^2(U_{0dcx}) - u^2(U_{0acx})] \\ - \left( \frac{1}{n_s^2} \right)^2 \cdot u^2(n_s) - \left( \frac{U_{0acs}}{n_s \cdot U_{0dcs}} \right)^2 \cdot u^2(n_s) - \left( \frac{1}{n_s^2 \cdot U_{0dcs}^2} \right) [u^2(U_{0dcs}) - u^2(U_{0acs})] \quad (1.7)$$

Como los términos  $[u^2(U_{0dcx}) - u^2(U_{0acx})]$  y  $[u^2(U_{0dcs}) - u^2(U_{0acs})]$  son diferencias de tensiones que son medidas con un intervalo temporal de 60 s, representan la estabilidad y linealidad de los instrumentos con los que se las mide. En este caso los instrumentos de medición se identifican como Keithley 182 y HP3458.

Resumiendo, la incertidumbre de la medición es,

$$u^2(\delta_d) = u^2(\delta_A) + u^2(\delta_{n-pot}) + u^2(\delta_{n-inc}) + u^2(\delta_{3458}) + u^2(\delta_{182}) \quad (1.8)$$

donde  $u^2(\delta_A)$  es el desvío estándar de las mediciones,  $u^2(\delta_{n-pat})$  es la incertidumbre en la de-

terminación del coeficiente n del patrón,  $u^2(\delta_{n-inc})$  es la incertidumbre en la determinación del

PEE24: Junio 2012

coeficiente  $n$  de la incógnita,  $u^2(\delta_{3458})$  es la estabilidad y linealidad del multímetro HP3458 que mide la

salida de tensión de la incógnita,  $u^2(\delta_{182})$  es la estabilidad y linealidad del nanovoltímetro Keithley 182 que mide la salida de tensión del patrón

### Cálculo de $u(\delta_s)$

$$u^2(\delta_s) = u^2(\delta_{\mu\text{pot}}) + u^2(\delta_{Zi}) + u^2(\delta_{\text{conexionado}}) + u^2(\delta_{TK}) + u^2(\delta_{\text{nivel}}) \quad (1.9)$$

donde  $u^2(\delta_{\mu\text{pot}})$  es la incertidumbre del micropotenciómetro,  $u^2(\delta_{Zi})$  es la incertidumbre en la determinación de la impedancia de entrada,  $u^2(\delta_{\text{conexionado}})$  es la incertidumbre debida al conexionado de cables y adaptadores,  $u^2(\delta_{TK})$  es la incertidumbre debido al coeficiente térmico de la incógnita y  $u^2(\delta_{\text{nivel}})$  es la incertidumbre debido a la utilización del micropotenciómetro fuera de su punto de calibración. Resumiendo, la incertidumbre en la medición de la diferencia AC-DC de un termoconversor utilizando un micropotenciómetro es:

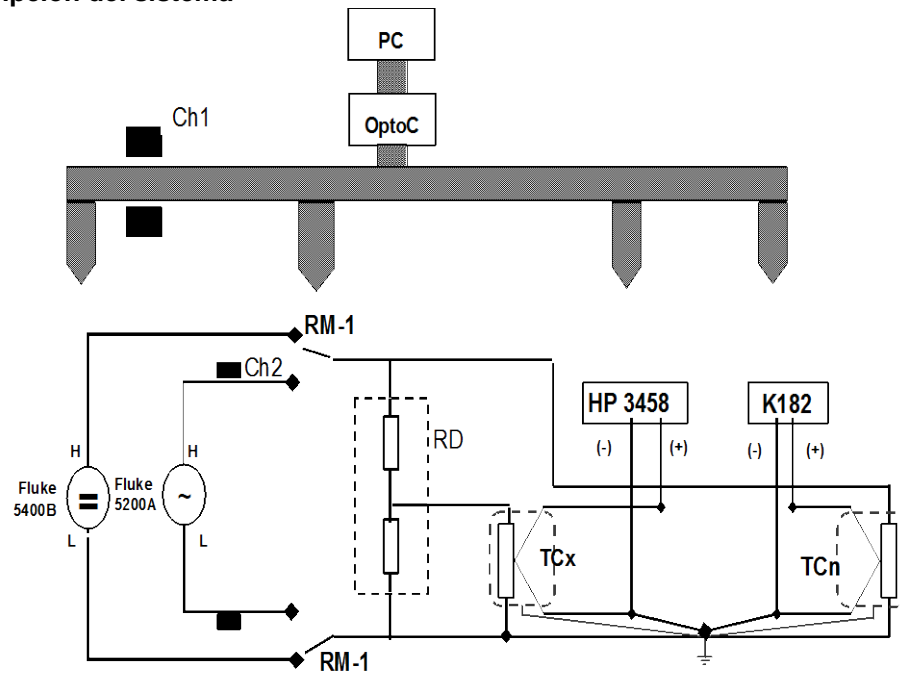
$$u^2(\delta_x) = u^2(\delta_A) + u^2(\delta_{n-\text{pot}}) + u^2(\delta_{n-\text{inc}}) + u^2(\delta_{3458}) + u^2(\delta_{182}) + u^2(\delta_{\mu\text{pot}}) + u^2(\delta_{Zi}) + u^2(\delta_{\text{conexionado}}) + u^2(\delta_{TK}) + u^2(\delta_{\text{nivel}}) \quad (1.10)$$

Como ejemplo, se muestran los cálculos de incertidumbre para la calibración de un termoconversor Fluke 792A a 10 mV @ 1 MHz, utilizando un micropotenciómetro patrón.

Fuente de incertidumbre	Símbolo	$C_i$	Valor ( $\pm$ )	Distribución	Factor	$V_i$	$U_i$
Desviación standard de las mediciones	$\delta_A$	1,0000000	1,37E-06	n	1,0	15	1,37E-06
Incertidumbre step anterior	$\delta_{\text{step}}$	1,0000000	4,87E-05	n	1,0	50	4,87E-05
Coeficiente $n$ del $\mu\text{pot}$	$\delta_{n-\mu\text{pot}}$	0,0000018	5,00E-06	r	1,7	50	5,21E-12
Incertidumbre del $\mu\text{pot}$ de 20 mV	$\delta_{\mu\text{pot}}$	1,0000000	1,13E-05	n	1,0	15	1,13E-05
Estabilidad de 3458	$\delta_{3458}$	1,239114495	3,90E-07	r	1,7	50	2,84E-07
Estabilidad del 182	$\delta_{182}$	0,000362812	9,29E-08	r	1,7	50	1,98E-11
Diferencia AC-DC debido a la imp. de entrada	$\delta_{Zi}$	1,0000000	1,00E-05	r	1,7	50	5,88E-06
Diferencia AC-DC debida al conexionado	$\delta_{\text{conexionado}}$	1,0000000	3,00E-05	r	1,7	50	1,76E-05
Diferencia AC-DC debida al coef. de temp del 792	$\delta_{TK}$	1,0000000	5,00E-07	r	1,7	50	2,94E-07
Diferencia AC-DC debida a bajar de rango el $\mu\text{pot}$	$\delta_{\text{nivel}}$	1,0000000	8,00E-06	r	1,7	50	4,71E-06
Variaciones imp. entrada debidas a conexiones	$\delta_{Zi-\text{con}}$	1,0000000	1,30E-05	r	1,7	50	7,65E-06
<b>Incertidumbre Combinada</b>				<b>N (1s)</b>		74	5,42E-05
<b>Incertidumbre Expandida (k=2)</b>				<b>N (95%)</b>	2,0		<b>1,08E-04</b>

PEE24: Junio 2012

- **Divisor resistivo**  
**Descripción del sistema**



RM-1 = relés de mercurio controlados por computadora.

Ch1, Ch2 = Bobinas coaxiales.

TCx = convertidor térmico incógnita Fluke 792A

TCn = convertidor térmico patrón.

K182-1 = nanovoltímetro Keithley 182.

HP 3458 = Multímetro digital Hewlett Packard 3458A.

OptoC = Optoacoplador IOTECH.

Fluke 5440B = Calibrador de tensión continua Fluke 5440B.

Fluke 5200A = Calibrador de tensión alterna Fluke 5200A.

RD = Divisor resistivo.

El funcionamiento del sistema es totalmente automático, mediante una PC, utilizando un programa dedicado. El programa establece para el nanovoltímetro:

- SLOW para el filtro digital y ON para el filtro analógico, si la frecuencia de medición es menor que 40 Hz.
- MEDIUM para el filtro digital y ON para el filtro analógico, si la frecuencia de medición es mayor o igual que 40 Hz.

La fuente Fluke 5200A tiene que tener las siguientes conexiones

- Los bornes de GUARDA y TIERRA tienen que estar conectados entre si y a su vez conectados a la tierra de jabalina.
- El conector OUTPUT LO tiene que estar conectado a tierra.

La fuente Fluke 5400B tiene que tener las siguientes conexiones



PEE24: Junio 2012

- Los bornes de Guarda y Tierra tienen que estar conectados entre si y a su vez conectados a tierra de jabalina.

### Incertidumbre: Modelo Matemático y Balance de Incertidumbre para la medición realizada con el divisor resistivo

#### Modelo Matemático

$$\delta_x = \delta_d + \delta_s \quad (1.11)$$

donde  $\delta_s$  es

$$\delta_s = \delta_{patron} + \delta_D + \delta_{conexiones} + \delta_{TK} + \delta_{Zi} \quad (1.12)$$

$\delta_d$  es la diferencia calculada como:

$$\delta_d = \frac{(U_{odcx} - U_{oacx})}{n_x \cdot U_{odcx}} - \frac{(U_{odcs} - U_{oacs})}{n_s \cdot U_{odcs}} \quad (1.13)$$

En la formula (1.12),  $\delta_{patron}$  es la diferencia AC-DC del patrón,  $\delta_D$  es la diferencia AC-DC del divisor,  $\delta_{conexionado}$  es la diferencia AC-DC debido al conexionado,  $\delta_{TK}$  es la diferencia AC-DC debido al coeficiente térmico del patrón y  $\delta_{Zi}$  es la diferencia AC-DC debida a la impedancia de entrada.

En la fórmula (1.13),  $n_x$  es el exponente del patrón,  $U_{odcx}$  y  $U_{oacx}$  son las tensiones de salida de la incógnita y  $U_{odcs}$  y  $U_{oacs}$  las tensiones de salida del patrón, con tensión de entrada tanto en CC como en CA.

#### Balance de Incertidumbre

De acuerdo con la ecuación (1.11), la incertidumbre combinada en la determinación de  $\delta_x$  es

$$u^2(\delta_x) = u^2(\delta_d) + u^2(\delta_s) \quad (1.14)$$

#### Cálculo de $u(\delta_d)$

$$u^2(\delta_d) = u^2(\delta_A) + u^2(\delta_C) \quad (1.15)$$

donde

$u(\delta_A)$  = es la incertidumbre de tipo A. Es la desviación estándar de las mediciones y

$u(\delta_C)$  = es la incertidumbre del sistema de medición.

#### Cálculo de $u(\delta_C)$

$$\begin{aligned} u^2(\delta_C) = & \left( -\frac{1}{n_x^2} \right)^2 \cdot u^2(n_x) - \left( \frac{U_{oacx}}{n_x \cdot U_{odcx}} \right)^2 \cdot u^2(n_x) - \left( \frac{1}{n_x \cdot U_{odcx}} \right)^2 \cdot u^2(U_{oacx}) - \\ & - \left( \frac{U_{oacx}}{n_x \cdot U_{odcx}^2} \right)^2 \cdot u^2(U_{odcx}) - \left( -\frac{1}{n_s^2} \right)^2 \cdot u^2(n_s) - \left( \frac{U_{oacs}}{n_s \cdot U_{odcs}} \right)^2 \cdot u^2(n_s) - \\ & - \left( \frac{1}{n_s \cdot U_{odcs}} \right)^2 \cdot u^2(U_{oacs}) - \left( \frac{U_{oacs}}{n_s \cdot U_{odcs}^2} \right)^2 \cdot u^2(U_{odcs}) \end{aligned} \quad (1.16)$$

PEE24: Junio 2012

Suponiendo que  $U_{0acx} \cong U_{0dcx}$  y  $U_{0acs} \cong U_{0dcs}$ , resulta que  $u^2(U_{0acx}) \cong u^2(U_{0dcx})$  y que  $u^2(U_{0acs}) \cong u^2(U_{0dcs})$  con lo cual, la ecuación (1.16) queda la siguiente forma

$$u^2(\delta_c) = \left(\frac{1}{n_x^2}\right)^2 \cdot u^2(n_x) - \left(\frac{U_{0acx}}{n_x \cdot U_{0dcx}}\right)^2 \cdot u^2(n_x) - \left(\frac{1}{n_x^2 \cdot U_{0dcx}^2}\right) [u^2(U_{0dcx}) - u^2(U_{0acx})] \\ - \left(\frac{1}{n_s^2}\right)^2 \cdot u^2(n_s) - \left(\frac{U_{0acs}}{n_s \cdot U_{0dcs}}\right)^2 \cdot u^2(n_s) - \left(\frac{1}{n_s^2 \cdot U_{0dcs}^2}\right) [u^2(U_{0dcs}) - u^2(U_{0acs})] \quad (1.17)$$

Como los términos  $[u^2(U_{0dcx}) - u^2(U_{0acx})]$  y  $[u^2(U_{0dcs}) - u^2(U_{0acs})]$  son diferencias de tensiones que son medidas con un intervalo temporal de 60 s, representan la estabilidad y la linealidad de los instrumentos con los que se las mide.

Resumiendo, la incertidumbre de la medición es,

$$u^2(\delta_d) = u^2(\delta_A) + u^2(\delta_{n-pot}) + u^2(\delta_{n-inc}) + u^2(\delta_{3458}) + u^2(\delta_{182}) \quad (1.18)$$

donde  $u^2(\delta_A)$  es el desvío estándar de las mediciones,  $u^2(\delta_{n-pat})$  es la incertidumbre en la determinación del coeficiente n del patrón,  $u^2(\delta_{n-inc})$  es la incertidumbre en la determinación del coeficiente n de la incógnita,  $u^2(\delta_{3458})$  es la estabilidad y linealidad del multímetro HP3458 que mide la salida de tensión de la incógnita,  $u^2(\delta_{182})$  es la estabilidad y linealidad del nanovoltímetro Keithley 182 que mide la salida de tensión del patrón

### Cálculo de $u(\delta_s)$

$$u^2(\delta_s) = u^2(\delta_{patron}) + u^2(\delta_D) + u^2(\delta_{conexiones}) + u^2(\delta_{TK}) + u^2(\delta_{Zi}) \quad (1.19)$$

donde  $u^2(\delta_{patron})$  es la incertidumbre del termoconversor patrón,  $u^2(\delta_D)$  es la incertidumbre del divisor,  $u^2(\delta_{conexiones})$  es la incertidumbre debida al conexionado de cables y adaptadores,  $u^2(\delta_{TK})$  es la incertidumbre debido al coeficiente térmico del patrón y  $u^2(\delta_{Zi})$  es la incertidumbre asociada con la diferencia AC-DC debida a la impedancia de entrada. Resumiendo, la incertidumbre en la medición de la diferencia AC-DC de un termoconversor utilizando un divisor resistivo es:

$$u^2(\delta_x) = u^2(\delta_A) + u^2(\delta_{n-pot}) + u^2(\delta_{n-inc}) + u^2(\delta_{3458}) + u^2(\delta_{182}) + \\ + u^2(\delta_{patron}) + u^2(\delta_D) + u^2(\delta_{conexiones}) + u^2(\delta_{TK}) + u^2(\delta_{Zi}) \quad (1.20)$$

Como ejemplo, se muestran los cálculos para la calibración de un termoconvensor Fluke 792A a 100 mV @ 1 kHz utilizando un termoconvensor y un divisor resistivo:

Fuente de incertidumbre	$c_i$	Valor ( $\pm$ )	Distribución	Factor	$v_i$	$u_i$
Desviación standard de las mediciones ( $\delta A$ )	1,000000000	5,40E-07	n	1,0	15	5,40E-07
Incertidumbre patrón	1,000000000	4,00E-06	n	1,0	50	4,00E-06
Incertidumbre Divisor	1,000000000	5,66E-06	n	2,0	50	2,83E-06
Coficiente n del 792	0,000050000	0,00E+00	r	1,7	50	0,00E+00
Coficiente n del mpot	0,000012500	5,00E-06	r	1,7	50	3,68E-11
Estabilidad de 3458	0,000056070	3,89E-07	r	1,7	50	1,28E-11
Estabilidad del 182	0,000940727	1,43E-07	r	1,7	50	7,92E-11
Diferencia AC-DC debido a la imp. de entrada ( $\delta Z_i$ )	1,000000000	0,00E+00	r	1,7	50	0,00E+00
Diferencia AC-DC debida al conexionado ( $\delta$ conexionado)	1,000000000	2,00E-06	r	1,7	50	1,18E-06
Diferencia AC-DC debida al coef. de temp del 792 ( $\delta TK$ )	1,000000000	5,00E-07	r	1,7	50	2,94E-07
<b>Incertidumbre Combinada</b>					<b>N (1s)</b>	<b>129</b>
<b>Incertidumbre Expandida (k=2)</b>					<b>N (95%)</b>	<b>2,0</b>
						<b>5,08E-06</b>
						<b>1,00E-05</b>

## 6.2. Cálculo de la impedancia de entrada

Para la calibración de un equipo del tipo Fluke 792A es necesario calcular previamente la impedancia de entrada del mismo, la cual se modela como un capacitor  $C_{imp}$  y un resistor  $R_{imp}$  en paralelo a la entrada del Fluke 792A.

Para determinar el valor de  $C_{imp}$  y  $R_{imp}$ , tres mediciones de la diferencia de transferencia AC-DC deben ser realizadas, conectando en cada caso un resistor de valores  $R=0$  Ohm,  $R=100$  Ohm y  $R=200$  Ohm, obteniendo tres diferencias AC-DC identificadas como  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  y  $\delta_{Rm}$

Con esos valores, mediante las fórmulas

$$C_{imp}^2 = \frac{(\delta_2 - \delta_{Rm}) - (\delta_1 - \delta_{Rm}) \frac{R_2}{R_1}}{0,5 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot R_2 \cdot (R_2 - R_1)} \quad (1.21)$$

$$\frac{1}{R_{imp}} = \frac{(\delta_1 - \delta_{Rm})}{R_1} - 0,5 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_{imp})^2 (2 \cdot R_{Rm} + R_1) + \frac{1}{R_0} \quad (1.22)$$

se puede calcular la diferencia AC-DC debido a la impedancia de entrada como

$$\delta_L = \left( \frac{1}{R_{imp}} - \frac{1}{R_0} \right) \cdot R_{Rm} + \frac{1}{2} (2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_{imp} \cdot R_{Rm})^2 \quad (1.23)$$

## Resultados

La **Tabla 1** muestra la diferencia de transferencia de tensión AC-DC para los patrones básicos y de trabajo, en  $\mu V/V$ . La **Tabla 2** muestra sus incertidumbres estándar en  $\mu V/V$ . La **Tabla 3** muestra las mejores incertidumbres con las cuales se puede calibrar un equipo de un cliente.

Patrón	Frecuencia (kHz)												
	0,01	0,02	0,04	0,1	1	10	20	50	100	300	500	800	1000
$\mu$ pot 100 mV	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,7	-3,5	-4,4	-7,1	-11,5	-29,2	-46,9	-73,5	-91,2
$\mu$ pot 50 mV	-3,7	-3,7	-3,7	-3,7	-3,6	-5,7	-8,1	-8,3	-8,7	-18,7	-28,7	-43,6	-53,6
$\mu$ pot 20 mV	5,2	5,2	5,2	5,2	5,0	2,8	0,4	-0,3	-1,4	-17,2	-33,1	-56,9	-72,8
Divisor	0	0	0	0	0	---	-7,4	---	0,7	---	---	---	177

Tabla 1

PEE24: Junio 2012

Patrón	Frecuencia (kHz)												
	0,01	0,02	0,04	0,1	1	10	20	50	100	300	500	800	1000
$\mu$ pot 100 mV	20	20	20	11	11	11	11	24	24	70	70	70	70
$\mu$ pot 50 mV	25	25	25	17	17	17	19	30	30	82	82	82	82
$\mu$ pot 20 mV	30	30	30	22	22	22	25	42	42	97	97	97	97
Divisor a 100 mV	15	15	15	6	6	6	6	---	13	---	---	---	34
Divisor a 50 mV	20	20	20	8	8	8	8	---	17	---	---	---	43
Divisor a 20 mV	25	25	25	15	15	18	18	---	35	---	---	---	88

Tabla 2

Tensión	Frecuencia (kHz)												
	0,01	0,02	0,04	0,1	1	10	20	50	100	300	500	800	1000
100 mV	40	40	40	15	15	15	15	30	30	80	80	80	80
50 mV	40	40	40	16	16	16	16	28	28	76	76	76	76
20 mV	40	40	40	20	20	24	24	40	40	92	92	92	92
10 mV	40	40	40	26	26	29	29	47	47	110	110	110	110

Tabla 3

## 7. Condiciones ambientales

Durante la medición y, al menos en las 24 horas previas a la misma, la temperatura ambiente de laboratorio deberá ser de  $(23 \pm 3)$  °C y la humedad relativa ambiente estar comprendida entre 40 % y 70 %.

## 8. Registros de calidad

Las notas y observaciones originales tomadas manualmente, original o copia de salidas de software (si resulta aplicable), copia de los certificados emitidos y copia de la orden de trabajo, registros de salida de instrumentos y otros documentos relacionados, son mantenidos de acuerdo con el Manual de Calidad del INTI - Física y Metrología, Capítulo 11.

## 9. Precauciones

De acuerdo con las provisiones del Decreto 937/74, Artículo 1, Sección d, esta es considerada tarea riesgosa. Por lo tanto deberán ser tomadas las precauciones necesarias para evitar shock eléctrico. Las operaciones de cambio de conexiones deben ser efectuadas con los circuitos de tensión y corriente desconectados.

## 10. Apéndices y Anexos

No aplicable