

Instituto Nacional
de Tecnología Industrial

Centro de Desarrollo e Investigación
en Física y Metrología

Procedimiento específico: PEE23A

CALIBRACIÓN DE PATRONES DE POTENCIA Y ENERGÍA (Método térmico)

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.

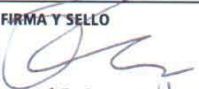
PEE 23A Lista de enmiendas: Julio 2012

[illegible]

PEE23A Índice: Junio 2012

NOMBRE DEL CAPÍTULO	REVISION
Índice	Junio 2012
CALIBRACIÓN DE PATRONES DE POTENCIA Y ENERGÍA (Método térmico)	Junio 2012

PREPARADO POR

FIRMA Y SELLO

Eliana Yacobi

REVISADO POR

FIRMA Y SELLO



Lic. LUCAS D. DI LILLO
COORD. 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

PEE 23A: Julio 2012

1. Objetivo

Establecer los métodos de calibración de patrones de potencia y energía.

2. Alcance

Patrones de potencia y energía comprendidos en los rangos siguientes:

Tensión: 60 V a 240 V

Corriente: 0,1 A a 10 A

Factor de potencia: 0.1 i a 0.1 c

Frecuencia: 47 Hz a 63 Hz

Forma de onda: sinusoidal, distorsión armónica < 0,5 %

3. Definiciones y abreviaturas

i: inductivo
c: capacitivo

4. Referencias

H. Laiz, R. Garcia, "A Power Comparator with High Accuracy, Simple and Inexpensive," IEEE-IM, April 1997.

Nile Oldham et al., International Comparison of Power at 50/60 Hz (1996-1999), CPEM 2000 Conference Digest.

5. Responsabilidades

Los técnicos del laboratorio de transferencia AC-DC 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 para calibraciones monofásicas

6.1. Para $0.5 \text{ A} \leq I \leq 10 \text{ A}$, a 60 V y 240 V

Descripción del sistema

En este rango se utiliza como patrón el comparador térmico LGL-1: En [1] puede encontrarse una descripción detallada del equipo y un análisis de incertidumbre. La Figura 1 muestra los detalles de la conexión.

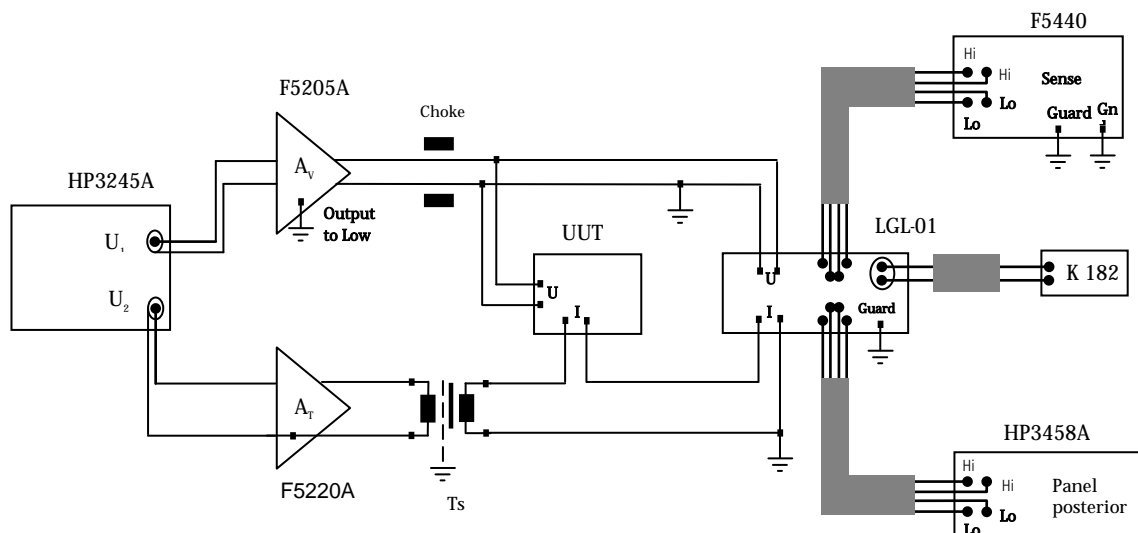


Figura 1

PEE 23A: Julio 2012

HP 3245A:	generador digital de dos canales.
F5205A:	amplificador de tensión.
F5220A:	amplificador de transconductancia.
UUT:	unidad bajo ensayo.
LGL-01:	comparador térmico de potencia.
FL5440:	calibrador de CC.
K182:	nanovoltímetro.
Ts:	transformador de aislación.
HP3458A:	multímetro digital

Todo el sistema trabaja automáticamente, controlado por una PC (POTENCIA.vi) con bus GPIB.

En la entrada de tensión del comparador térmico LGL-1, se coloca una resistencia de aproximadamente 250 Ω en serie con la entrada de tensión para evitar que actúen las protecciones de las fuentes durante el establecimiento de la tensión. Esta resistencia es retirada a los pocos segundos de establecida la tensión nominal.

La tierra de tensión de medición va siempre conectada en la entrada de tensión del comparador térmico LGL-1, mientras que la tierra de corriente se conecta en el patrón con menor impedancia de entrada.

El multímetro digital HP3458A, puede ser reemplazado por un multímetro digital HP34401.

Para equipos bajo prueba que tengan salida de pulsos, se utilizará para su medición el frecuencímetro identificado como Fluke PM6665 o el frecuencímetro identificado como Golsdtar FC-2130U

El calibrador Fluke 5440B puede ser reemplazado por el calibrador Fluke 5700A o el calibrador Fluke 5720A

La fuente HP3245A y los amplificadores F5220 y 5205 pueden reemplazarse por la fuente ZERA VCS 320 #97-626-12 o por el calibrador Fluke 6100A. En estos casos el diagrama de conexiones es el siguiente:

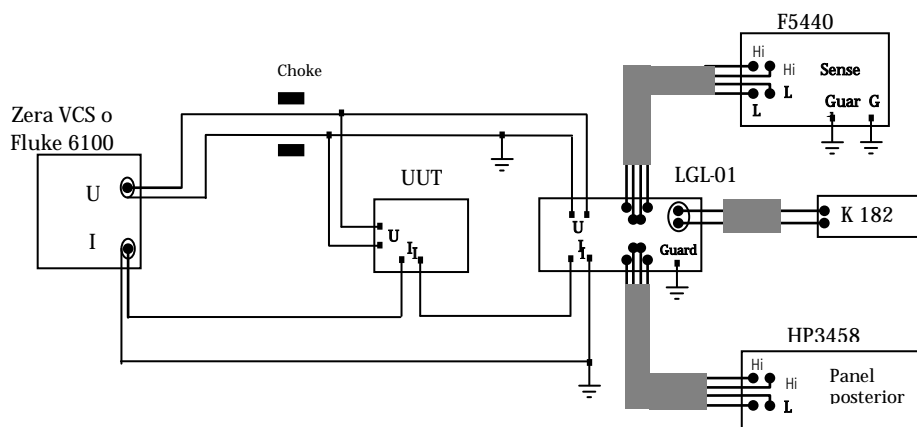


Figura 2

Incertidumbre: Modelo matemático y balance de incertidumbre

Modelo matemático

$$e = \frac{Y_i - Y_{LGL} \cdot (1 + d_{LGL}) \cdot (1 + TC_{LGL}) \cdot (1 + C_{LGL})}{U \cdot I} \quad (0.1)$$

e = error de la incógnita.

Y_i = lectura de la incógnita.

Y_{LGL} = lectura del comparador LGL-01.

PEE 23A: Julio 2012

C_{LGL} = corrección del comparador LGL-01.

d_{LGL} = corrimiento de los componentes de referencia entre dos calibraciones del comparador LGL-01.

TC_{LGL} = coeficiente de temperatura del comparador LGL-01.

Ejemplo de balance de incertidumbre

La incertidumbre estándar combinada en la determinación de e es (según la ecuación (6.1))

$$s_e^2 = s_{Y_i}^2 + s_{Y_{LGL}}^2 + 2 \cdot \rho(Y_i \cdot Y_{LGL}) \cdot s_{Y_i} \cdot s_{Y_{LGL}} + s_{C_{LGL}}^2 + s_{d_{LGL}}^2 + s_{TC_{LGL}}^2 \quad (0.2)$$

En (0.2) U e I sólo se utilizan como valores de referencia para el cálculo de error. Es por ello que su incertidumbre no juega ningún papel significativo en la incertidumbre de e

Los primeros tres términos de (0.2) corresponden a la incertidumbre de tipo A, la cual se determina estadísticamente. Esta se calcula como la desviación estándar de la media para 12 determinaciones de e . Por consiguiente se incluye el efecto de las incertidumbres de Y_i e Y_{LGL} y su correlación debida a la inestabilidad de la fuente de alimentación.

En los análisis subsiguientes, las incertidumbres son siempre relativas a la potencia aparente.

Tabla 1

Fuente de incertidumbre	Symbol	$C_i^{(1)}$	Value (\pm)	Distribution ⁽²⁾	Factor	$Y_i^{(3)}$	$C_i^2 \cdot u_i^2$
Tipo A ⁽¹⁾	e_A	1	5,0E-06	n	1,0	9	2,50E-13
Corrección del comparador LGL-01 ⁽²⁾	C_{LGL}	1	3,8E-05	n	2,0	50	3,61E-10
Corrimiento del comparador LGL-01	d_{LGL}	1	6,0E-06	r	1,7	50	1,20E-11
Coef. De temp. Del comparador LGL-01	TC_{LGL}	1	2,0E-06	n	2,0	50	1,00E-12
Incertidumbre combinada	u_c			N (1 σ)		inf	2,00E-05
Incertidumbre expandida (k=2)	U			N (95%)	2,0		$\pm 40 \mu W/VA$

⁽¹⁾ Desviación estándar de la media típica para un patrón tipo HEG C1-2

⁽²⁾ Incluye el factor de linealidad para corriente nominal entre 100% y 50%

6.2. Para $0.1 A \leq I \leq 0.5 A$, a 60 V y 120 V

Descripción del sistema

Luego de su calibración según el procedimiento descripto en (6.1), el convertor de potencia Hamburger C1-2 #51706 se utiliza como patrón, junto con el transformador de corriente TIR1. Para corrientes menores a 0,5 A, el transformador se utiliza en su rango de 0,5 A. De este modo, el convertor de potencia C1-2 trabaja hasta un 20% por debajo de su corriente nominal, utilizándose la correspondiente corrección.

La Figura 3 muestra el diagrama de conexiones.

PEE 23A: Julio 2012

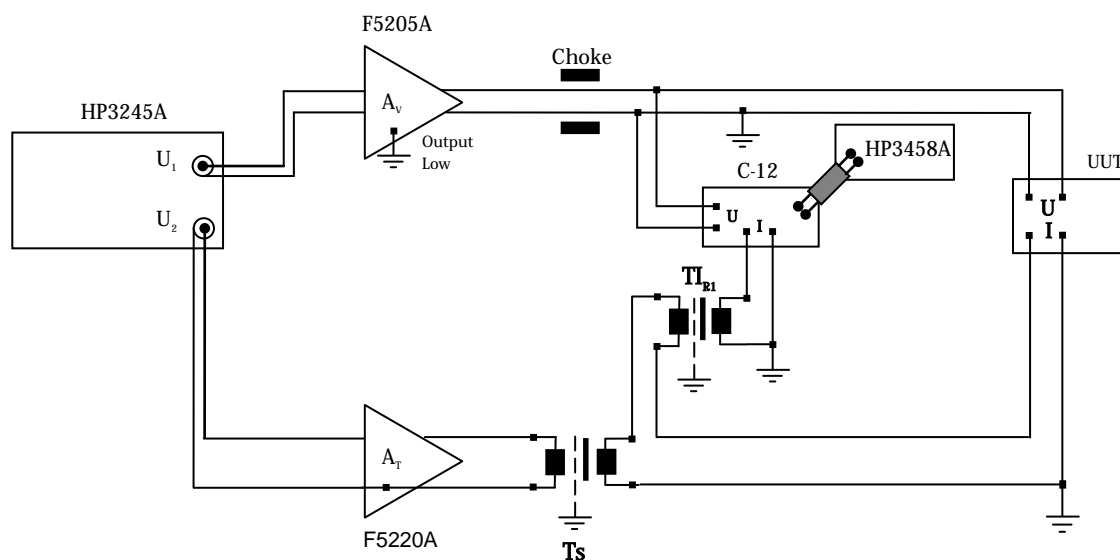


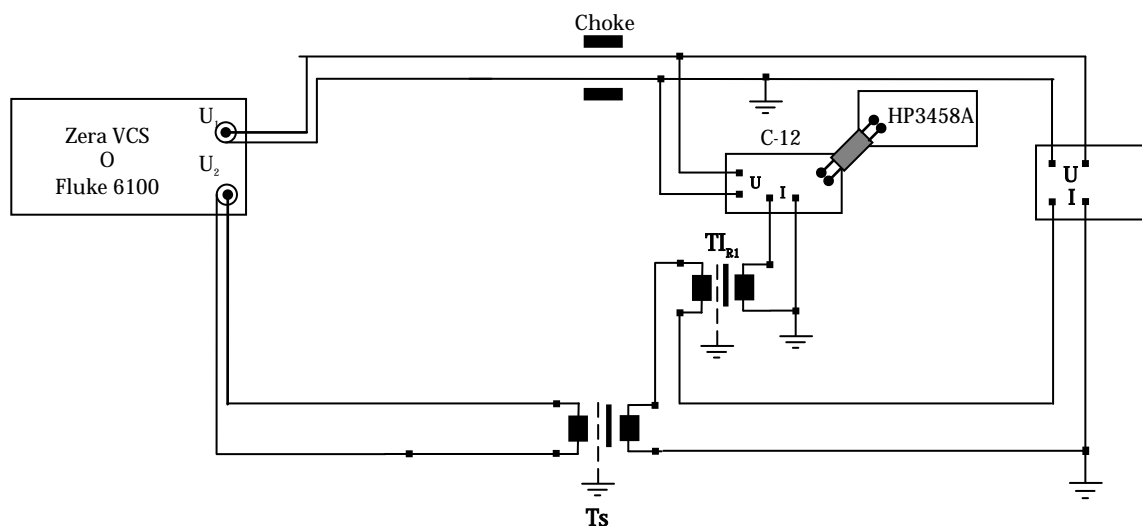
Figura 3

- HP3245A: generador digital de dos canales.
- F5205A: amplificador de tensión.
- F5220A: amplificador de transconductancia.
- UUT: unidad bajo ensayo.
- C1-2: conversor de potencia patrón.
- HP3458A: multímetro digital.
- TIR1: transformador de corriente.
- TS: transformador de aislación.

Todo el sistema trabaja automáticamente, controlado por una PC con bus GPIB.

En caso de realizar la medición del C1-2 con la salida de frecuencia, se utilizará para su medición el frecuencímetro identificado como Fluye PM6665 o el frecuencímetro identificado como Goldstar FC-2130U

La fuente HP3245A y los amplificadores F5220 y 5205 pueden reemplazarse por la fuente ZERA VCS 320 #97-626-12 o por el calibrador Fluke 6100A. En estos casos el diagrama de conexiones es el siguiente (Fig 4)



PEE 23A: Julio 2012

Figura 4

Incertidumbre: Modelo matemático y balance de incertidumbre.

Modelo matemático

$$e = \frac{Y_i - Y_{C12} \cdot k_{nTI} (1 - F_{TI}) \cdot (1 + d_{C12}) \cdot (1 + TC_{C12}) \cdot (1 + C_{C12}) \cdot (1 + L_{C1-2})}{U \cdot I} - \delta_{TI} \cdot \sin \varphi \quad (0.3)$$

e = error de la incógnita (UUT).

Y_i = lectura de la incógnita.

Y_{C1-2} = lectura del conversor de potencia C1-2.

d_{C1-2} = corrimiento entre dos calibraciones del conversor de potencia C1-2.

T_{C1-2} = coeficiente de temperatura del conversor de potencia C1-2.

L_{C1-2} = corrección debida a la no linealidad del conversor de potencia C1-2.

Para 0.1 A en el primario de TIR1, C1-2 toma 1.0 A, siendo 2,5 A la corriente mínima verificada según 6.1. El conversor C1-2 se verifica con 120 V y 0 A, para estimar este efecto. La esperanza de esta corrección se supone nula, pero su incertidumbre estándar contribuye a la incertidumbre total.

k_{nTI} = relación del transformador de corriente.

F_{TI} = componente en fase del error del transformador de corriente.

δ_{TI} = componente en cuadratura del error del transformador de corriente.

φ = ángulo de fase entre U e I

Ejemplo de balance de incertidumbre

Tabla 2

$\cos \phi = 0.5$

Fuente de incertidumbre	Símbolo	$C_i^{(1)}$	Valor (\pm)	Distribución ⁽²⁾	Factor	$v_i^{(3)}$	$C_i^2 \cdot u_i^2$
Tipo A ⁽¹⁾	e_A	1	1,5E-05	n	1,0	9	2,25E-10
Corrección de conversor C1-2	C_{C1-2}	1	4,0E-05	n	2,0	50	4,00E-10
Corrimiento del conversor C1-2	d_{C1-2}	1	6,0E-06	r	1,7	50	1,20E-11
Linealidad del conversor C1-2	L_{C1-2}	1	2,0E-05	n	2,0	50	1,00E-10
Coef. de temp. Del conversor C1-2	TC_{C1-2}	1	2,0E-06	n	2,0	50	1,00E-12
error en módulo para TI	F	0,5	5,0E-05	n	2,0	50	1,56E-10
Error en ángulo para TI	δ	0,866	5,0E-05	n	2,0	50	4,69E-10
Incertidumbre combinada	u_c			N (1σ)		inf	3,69E-05
Incertidumbre expandida (k=2)	U			N (95%)	2,0		± 74

PEE 23A: Julio 2012

6.3. Para $0.1 \text{ A} \leq I \leq 0.5 \text{ A}$ de 120 V y 240 V

Descripción del sistema

En este rango, se utiliza como patrón el convertor de potencia Hamburger C1-2, en combinación con el transformador de corriente TIR1 y el divisor de tensión TVA1. La Figura 5 muestra el diagrama de conexión.

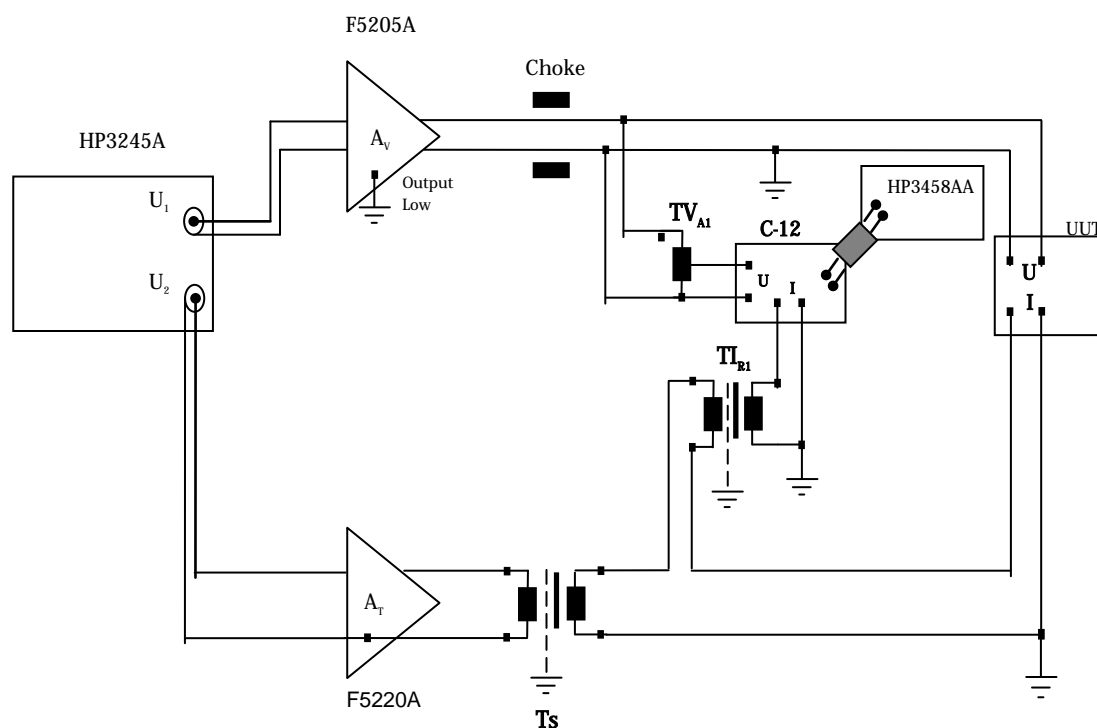


Figura 5

HP3245A:	generador digital de dos canales.
F5205A:	amplificador de tensión.
F5220A:	amplificador de transconductancia.
UUT:	unidad bajo ensayo.
C1-2:	patrón de potencia.
TIR1:	transformador de corriente.
TVA1:	divisor de tensión.
TS:	transformador de aislación.

Todo el sistema trabaja automáticamente, controlado por una PC con bus GPIB.

En caso de realizar la medición del C1-2 con la salida de frecuencia, se utilizará para su medición el frecuencímetro identificado como Fluye PM6665 o el frecuencímetro identificado como Goldstar FC-2130U

En 6.1, 6.2 y 6.3, la fuente HP3245A y los amplificadores F5220 y 5205 pueden reemplazarse por la fuente ZERA VCS 320 #97-626-12.

Incertidumbre: Modelo matemático y balance de incertidumbre.

Modelo matemático

$$e = \frac{Y_i - Y_{C12} \cdot k_{nTI} \cdot k_{nTV} \cdot (1 - F_{TI}) \cdot (1 - F_{TV}) \cdot (1 + d_{C12}) \cdot (1 + TC_{C12}) \cdot (1 + C_{C12})}{U \cdot I} - (\delta_{TI} - \delta_{TV}) \cdot \text{sen}\varphi \quad (0.4)$$

PEE 23A: Julio 2012

$e =$	error de la incógnita (UUT).
$Y_i =$	lectura de la incógnita.
$Y_{C1-2} =$	lectura del conversor de potencia C1-2.
$d_{C1-2} =$	corrimiento entre dos calibraciones del conversor de potencia C1-2.
$T_{C1-2} =$	coeficiente de temperatura del conversor de potencia C1-2.
$L_{C1-2} =$	corrección debida a la no linealidad del conversor de potencia C1-2.
$k_{nTI} =$	relación de transformador de corriente.
$k_{nTV} =$	relación del transformador de tensión.
$F_{TI} =$	componente en fase del error del transformador de corriente.
$F_{TV} =$	componente en fase del error del divisor de tensión.
$\delta_{TI} =$	componente en cuadratura del error del transformador de corriente.
$\delta_{TV} =$	componente en cuadratura del error del transformador de tensión.
$\varphi =$	ángulo de fase entre U e I.

Ejemplo de balance de incertidumbre

Tabla 3

$\cos \phi = 0.5$

Fuente de incertidumbre	Símbolo	$C_i^{(1)}$	Valor (\pm)	Distribución ⁽²⁾	Factor	$\nu_i^{(3)}$	$C_i^2 \cdot u_i^2$	
Tipo A ⁽¹⁾	e_A	1	1,5E-05	n	1,0	9	2,25E-10	
Corrección del conversor C1-2	C_{C1-2}	1	4,0E-05	n	2,0	50	4,00E-10	
Corrimiento del conversor C1-2	d_{C1-2}	1	6,0E-06	r	1,7	50	1,20E-11	
Linealidad del conversor C1-2	L_{C1-2}	1	2,0E-05	n	2,0	50	1,00E-10	
Coef. de temp. Del conversor C1-2	TC_{C1-2}	1	2,0E-06	n	2,0	50	1,00E-12	
Módulo del error para TV	F_{TV}	0,5	5,0E-05	n	2,0	50	1,56E-10	
Ángulo del error para TV	δ_{TV}	0,866	5,0E-05	n	2,0	50	4,69E-10	
Módulo del error para TI	F_{TI}	0,5	5,0E-05	n	2,0	50	1,56E-10	
Ángulo del error para TI	δ_{TI}	0,866	5,0E-05	n	2,0	50	4,69E-10	
Incertidumbre combinada	u_c			N (1σ)		inf	4,46E-05	
Incertidumbre expandida (k=2)	U			N (95%)	2,0		± 89	$\mu W/VA$

⁽¹⁾ Desviación estándar típica de la media para un comparador incógnita k2004

Mejores posibilidades de calibración monofásica disponibles actualmente en el laboratorio

TENSIÓN (V)	CORRIENTE (A)	INCERTIDUMBRE ($\mu W/(V \cdot A)$)
60 V \leq V \leq 240 V	0.5 A \leq I \leq 10 A	40
60 V \leq V \leq 120 V	0,1 A \leq I \leq 0,5 A	75
120 V \leq V \leq 240 V	0,1 A \leq I \leq 0,5 A	90

PEE 23A: Julio 2012

7. Identificación y almacenaje

Los patrones de potencia y energía a calibrarse se identifican de acuerdo a las instrucciones del Manual de la Calidad del INTI - Física y Metrología, capítulo 9 guardándose, desde el momento de su ingreso hasta que, una vez calibrados, son devueltos al cliente, en el Área de transferencia AC-DC, laboratorio N° 2.

8. Instrumentos a utilizarse

- Comparador térmico de potencia HAMBURGER ELEKTRONIK GESELLSCHAFT mbH, modelo k2004, #13550.
- Conversor de potencia HAMBURGER ELEKTRONIK GESELLSCHAFT mbH, modelo C1-2, #51706.
- Transformador de corriente de construcción propia CTM001.
- Multímetro digital HEWLETT PACKARD, 3458A, N° 2823A11567.

Fuente digital de dos canales HEWLETT PACKARD, modelo 3245A, #2831A03634.

Amplificador de tensión FLUKE modelo 5205A, #2885005.

Amplificador de transconductancia FLUKE modelo 5220A # 6325001.

Calibrador de CC FLUKE modelo 5440B #4855003.

KEITHLEY modelo 182 #0574079.

Comparador térmico de potencia LGL-01 #101.

ZERA VCS 320 #97-626-12

Fluke 6100A

9. Condiciones ambientales

Temperatura ambiente durante las mediciones: $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$

Humedad relativa ambiente máxima durante las mediciones: 75 %

10. 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.

11. 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.

12. Apéndices y anexos

ANEXO N°	TÍTULO
1	H. Laiz, R. Garcia, "A Power Comparator with High Accuracy, Simple and Inexpensive," IEEE-IM, April 1997.