

Copia No Controlada

Instituto Nacional  
de Tecnología Industrial

Centro de Desarrollo e Investigación  
en Física y Metrología

Procedimiento específico: PEE23C

**CALIBRACIÓN DE PATRONES DE  
POTENCIA Y ENERGÍA  
(Por comparación directa)**

Revisión: Junio 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.



PEE23D Índice: Junio 2012

NOMBRE DEL CAPÍTULO	REVISIÓN
Índice	Junio 2012
CALIBRACIÓN DE PATRONES DE POTENCIA Y ENERGÍA (Método Muestreo sincrónico)	Junio 2012

PREPARADO POR

**FIRMA Y SELLO**  
  
 DAVID D. LEIVA  
 U. T. ELECTRICIDAD  
 FÍSICA Y METROLOGÍA

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

PEE23C Índice: Junio 2012

## 1. Objeto

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 100 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

### 5.1 Del Coordinador de la Unidad Técnica Electricidad

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

### 5.2 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 Para corrientes mayores a 50 A

#### Descripción del sistema

El patrón de potencia Rotek MSB 100 (Nº 165, 166 o 167) se utiliza como patrón para corrientes mayores a 50A, conjuntamente con el transformador de corriente HAMBURGER ELEKTRONIK GESELLSCHAFT gmbH, modelo IW15. En la Figura 1 se presenta el diagrama de conexiones.

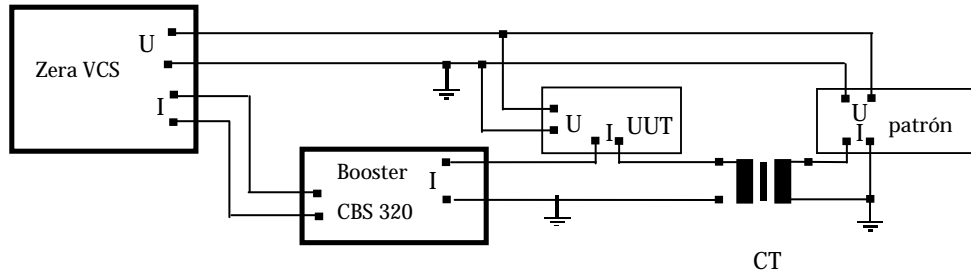


Figura 1

- CBS 320: Booster Zera CBS 320.
- Zera VCS: Fuente Zera
- UUT: unidad bajo ensayo.
- Patrón: patrón de potencia Rotek MSB100
- CT: transformador de corriente IW15.

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

En equipos trifásicos y para corrientes mayores a 50A, se utiliza el sistema mencionado anteriormente conectando el UTT en forma homopolar.

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

$$e = \frac{Y_i - Y_p \cdot k_{nII} \cdot (1 - F_{II}) \cdot (1 + d_p) \cdot (1 + TC_p) \cdot (1 + C_p)}{U \cdot I} - \delta_{II} \cdot \sin\phi \tag{1.1}$$

- $e =$  error de la incógnita (UUT).
- $Y_i =$  lectura de la incógnita.
- $Y_p =$  lectura del patrón.
- $d_p =$  corrimiento entre dos calibraciones de las componentes de referencia del patrón.
- $TC_p =$  coeficiente de temperatura del conversor del patrón
- $C_p =$  corrección del patrón

PEE23C Índice: Junio 2012

$k_{nTI} =$  relación del transformador de corriente.

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

$\delta_{TI} =$  componente en cuadratura del error del transformador de corriente.

$\varphi =$  ángulo de fase entre U e I.

La incertidumbre de tipo A se calcula como la desviación estándar de la media de 12 determinaciones de  $e$ .

**Ejemplo de balance de incertidumbre**

**Tabla 1**

I=100 A  
cos  $\phi = 1$

Fuente de incertidumbre	Símbolo	$c_i^{(1)}$	Valor ( $\pm$ )	Distribución <sup>(2)</sup>	Factor	$v_i^{(3)}$	$c_i^2 \cdot u_i^2$	
Tipo A <sup>(1)</sup>	$e_A$	1	2,0E-05	n	1,0	9	4,00E-10	
Corrección del patrón	$C_{k2004}$	1	8,9E-05	n	2,0	50	1,98E-09	
Corrimiento del patrón	$d_{k2004}$	1	5,0E-05	r	1,7	50	8,33E-10	
Coef. de temp. del patrón	$TC_{k2004}$	1	2,0E-06	n	2,0	50	1,00E-12	
Error en módulo para TI	$F$	1	5,0E-05	n	2,0	50	6,25E-10	
Error en ángulo para TI	$\delta$	0	5,0E-05	n	2,0	50	0,00E+00	
<b>Incertidumbre combinada</b>	$u_c$			<b>N (1<math>\sigma</math>)</b>		inf	6,20E-05	
<b>Incertidumbre expandida (k=2)</b>	<b>U</b>			<b>N (95%)</b>	2,0		<b><math>\pm 124</math></b>	<b><math>\mu W/W</math></b>

<sup>(1)</sup>Desvío estándar de la media para un patrón desconocido típico

**Tabla 2**

**Mejores posibilidades de calibración monofásica disponibles actualmente en el laboratorio**

Tensión (V)	Corriente (A)	Incertidumbre ( $\mu W/(V A)$ )
60 V $\leq$ V $\leq$ 120 V	50 A < I $\leq$ 100 A	75
120 V $\leq$ V $\leq$ 240 V	50 A < I $\leq$ 100 A	130

**6.2 Instrucciones para calibraciones trifásicas y monofásico hasta 50A**

Las comparaciones en potencia eléctrica o energía eléctrica se realizan por comparación directa con los patrones de potencia Rotek, modelo MSB100, N° 165, N° 166, N° 167. Los instrumentos Rotek son calibrados monofásicamente en el laboratorio de Transferencia AC-DC y potencia eléctrica de INTI - Física y Metrología.

PEE23C Índice: Junio 2012

El diagrama de conexión es el siguiente

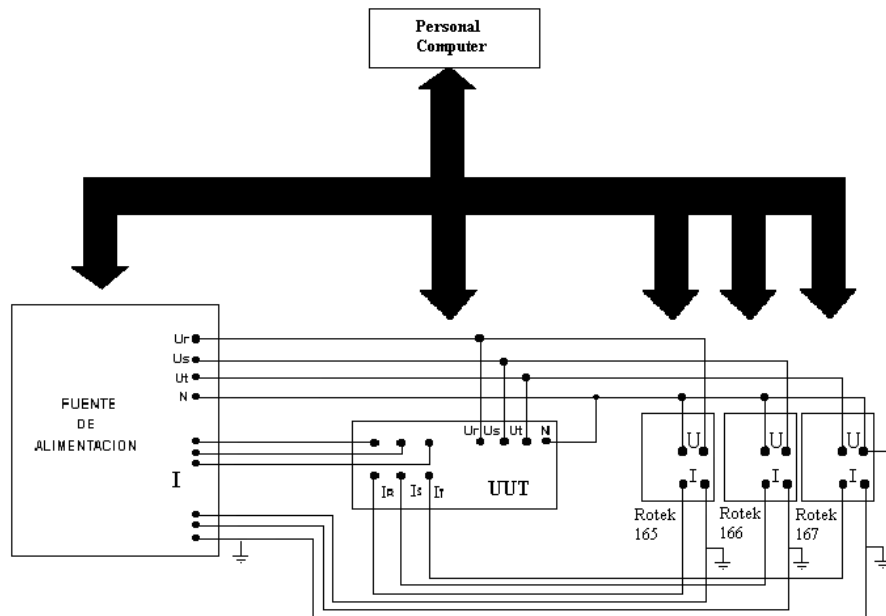


Figura 2

La salida en frecuencia de los patrones de potencia como la del equipo de control del EEM se conecta a las entradas del contador de frecuencia National Instrument del CPU. La cantidad de pulsos que se toman para completar una medición es de  $1 \cdot 10^6$ .

**Modelo matemático:**

$$d = Y(1 + \delta Y) - [X_1(1 + \delta X_1)(1 + dX_1) + Ck_1] - [X_2(1 + \delta X_2)(1 + dX_2) + Ck_2] - [X_3(1 + \delta X_3)(1 + dX_3) + Ck_3] \quad (1.2)$$

donde

$d$  = error absoluto de la incógnita

$Y$  = indicación de la incógnita

$\delta Y$  = resolución de la incógnita. Esperanza igual a cero.

$X_1$  = indicación del patrón Rotek N°1

$\delta_{x_1}$  = resolución de la indicación patrón Rotek N°1. Esperanza igual a cero.

$Ck_1$  = corrección de la indicación del patrón Rotek N°1 obtenida de su certificado de calibración.

PEE23C Índice: Junio 2012

$d_{x1}$ =drift del patrón Rotek N°1

$X_2$ = indicación del patrón Rotek N°2

$\delta_{x2}$ = resolución de la indicación patrón Rotek N°2. Esperanza igual a cero.

$Ck2$ = corrección de la indicación del patrón Rotek N°2 obtenida de su certificado de calibración.

$d_{x2}$ =drift del patrón Rotek N°2

$X_3$ = indicación del patrón Rotek N°3

$\delta_{x3}$ = resolución de la indicación patrón Rotek N°3. Esperanza igual a cero.

$Ck3$ = corrección de la indicación del patrón Rotek N°3 obtenida de su certificado de calibración.

$d_{x3}$ =drift del patrón Rotek N°3

**Análisis de la incertidumbre**

De acuerdo con la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**(1.6), la incertidumbre en la determinación de  $d$  es:

$$\begin{aligned}
 u^2(d) = & \left(\frac{\partial d}{\partial Y}\right)^2 u^2(Y) + \left(\frac{\partial d}{\partial(\delta Y)}\right)^2 u^2(\delta Y) + \left(\frac{\partial d}{\partial(X_1)}\right)^2 u^2(X_1) + \left(\frac{\partial d}{\partial(\delta X_1)}\right)^2 u^2(\delta X_1) + \left(\frac{\partial d}{\partial(dX_1)}\right)^2 u^2(dX_1) + \\
 & + \left(\frac{\partial d}{\partial(Ck_1)}\right)^2 u^2(Ck_1) + \left(\frac{\partial d}{\partial(X_2)}\right)^2 u^2(X_2) + \left(\frac{\partial d}{\partial(dX_2)}\right)^2 u^2(dX_2) + \left(\frac{\partial d}{\partial(\delta X_2)}\right)^2 u^2(\delta X_2) + \left(\frac{\partial d}{\partial(Ck_2)}\right)^2 u^2(Ck_2) + \\
 & + \left(\frac{\partial d}{\partial(X_3)}\right)^2 u^2(X_3) + \left(\frac{\partial d}{\partial(dX_3)}\right)^2 u^2(dX_3) + \left(\frac{\partial d}{\partial(\delta X_3)}\right)^2 u^2(\delta X_3) + \left(\frac{\partial d}{\partial(Ck_3)}\right)^2 u^2(Ck_3) + \\
 & + 2 \cdot \left(\frac{\partial d}{\partial(Ck_1)}\right) \left(\frac{\partial d}{\partial(Ck_2)}\right) u(Ck_1)u(Ck_2)r((Ck_1)(Ck_2)) + 2 \cdot \left(\frac{\partial d}{\partial(Ck_1)}\right) \left(\frac{\partial d}{\partial(Ck_3)}\right) u(Ck_1)u(Ck_3)r((Ck_1)(Ck_3)) + \\
 & + 2 \cdot \left(\frac{\partial d}{\partial(Ck_3)}\right) \left(\frac{\partial d}{\partial(Ck_2)}\right) u(Ck_3)u(Ck_2)r((Ck_3)(Ck_2))
 \end{aligned}
 \tag{1.3}$$

Teniendo en cuenta el balance de incertidumbre indicado en la tabla1, Los coeficientes de correlación  $r((Ck_1)(Ck_2))$ ,  $r((Ck_1)(Ck_3))$  y  $r((Ck_3)(Ck_2))$  tiene valor 1.



**Ejemplo de balance de incertidumbre**

**Tabla 3**

**PLANILLA PARA EL CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE CALIBRACION**

120V-5A-cosPhi=1 Cantidad de pulsos=1.10<sup>6</sup>

Uncertainty source	Symbol	$c_i^{(1)}$		Value ( $\pm$ )		Distribution <sup>(2)</sup>	Factor	$v_i^{(3)}$	$c_i^2 \cdot u_i^2$	
Lectura de la incognita (tipo A)	$Y$	1		1,0E-04	Wh	n	2,3	9	1,00E-08	(Wh) <sup>2</sup>
Resolucion de la incognita	$\delta Y$	10	Wh	1,0E-06		r	1,7	50	1,00E-10	(Wh) <sup>2</sup>
Lectura del patron 1	$X_1$	1		1,0E-04	Wh	n	2,0	50	1,00E-08	(Wh) <sup>2</sup>
Resolucion del patrón 1	$\delta X_1$	10	Wh	1,0E-06		r	1,7	50	1,00E-10	(Wh) <sup>2</sup>
Corrimiento del patron 1 (drift 1)	$dX_1$	10	Wh	2,0E-05		n	2,0	50	4,00E-08	(Wh) <sup>2</sup>
Correccion del patron 1	$Ck_1$	1		2,0E-04	Wh	n	2,0	50	4,00E-08	(Wh) <sup>2</sup>
Lectura del patron 2	$X_2$	1		1,0E-04	Wh	n	2,0	50	1,00E-08	(Wh) <sup>2</sup>
Resolucion del patrón 2	$\delta X_2$	10	Wh	1,0E-06		r	1,7	50	1,00E-10	(Wh) <sup>2</sup>
Corrimiento del patron 2 (drift 2)	$dX_2$	10	Wh	2,0E-05		n	2,0	50	4,00E-08	(Wh) <sup>2</sup>
Correccion del patron 2	$Ck_2$	1		2,0E-04		n	2,0	50	4,00E-08	(Wh) <sup>2</sup>
Lectura del patron 3	$X_3$	1		1,0E-04	Wh	n	2,0	50	1,00E-08	(Wh) <sup>2</sup>
Resolucion del patrón 3	$\delta X_3$	10	Wh	1,0E-06		r	1,7	50	1,00E-10	(Wh) <sup>2</sup>
Corrimiento del patron 3 (drift3)	$dX_3$	10	Wh	2,0E-05		n	2,0	50	4,00E-08	(Wh) <sup>2</sup>
Correccion del patron 3	$Ck_3$	1		2,0E-04	Wh	n	2,0	50	4,00E-08	(Wh) <sup>2</sup>
Correlacion patron 1-2	—	1		2,0E-04	Wh	n	2,0	50	8,00E-08	(Wh) <sup>2</sup>
Correlacion patron 1-3	—	1		2,0E-04	Wh	n	2,0	50	8,00E-08	(Wh) <sup>2</sup>
Correlacion patron 3-2	—	1		2,0E-04	Wh	n	2,0	50	8,00E-08	(Wh) <sup>2</sup>
	$u_c$					<b>N (1<math>\sigma</math>)</b>		inf	7,21E-04	Wh
<b>Combined Uncertainty</b>	<b>U</b>					<b>N (95%)</b>	2,0		<b><math>\pm 1442,8</math></b>	Wh

relative  $u = \pm 48 \mu\text{Wh/Wh}$

- (1) sensibility coefficients
- (2) N: normal; R: rectangular
- (2) degrees of freedom

**Tabla 4**  
**Mejores posibilidades de calibración trifásica disponibles actualmente en el laboratorio**

Tensión (V)	Corriente (A)	Incertidumbre ( $\mu\text{W}/(\text{V A})$ )
$60 \text{ V} \leq V \leq 240 \text{ V}$	$0,5 \text{ A} \leq I \leq 10 \text{ A}$	50
$120 \text{ V} \leq V \leq 240 \text{ V}$	$0,1 \text{ A} \leq I \leq 0,5 \text{ A}$	85
$60 \text{ V} \leq V \leq 120 \text{ V}$	$50 \text{ A} < I \leq 100 \text{ A}$	85
$60 \text{ V} \leq V \leq 240 \text{ V}$	$10 \text{ A} < I \leq 50 \text{ A}$	120
$120 \text{ V} \leq V \leq 240 \text{ V}$	$50 \text{ A} < I \leq 100 \text{ A}$	140

## 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  $(23 \pm 3) \text{ }^\circ\text{C}$  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.

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 10 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.

## 10 Instrumentos a utilizarse

Transformador de corriente HAMBURGER ELEKTRONIK GESELLSCHAFT mbH, modelo IW15, #18143.

ZERA VCS 320 #97-626-12

Booster Zera CBS320

Patrón de potencia y Energía Rotek MSB100 Serie 165

Patrón de potencia y Energía Rotek MSB100 Serie 166

Patrón de potencia y Energía Rotek MSB100 Serie 167

PEE23C Índice: Junio 2012

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 12 del Manual de la Calidad del INTI - Física y Metrología.

**11 Apéndices y Anexos**

No aplicable