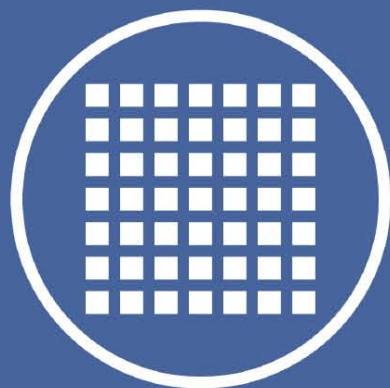


Instituto Nacional
de Tecnología Industrial

Centro de Desarrollo e Investigación
en Física y Metrología



INTI



Procedimiento específico: PEE31

CALIBRACIÓN DE PATRONES DE CAPACIDAD

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.

PEE31 Lista de enmiendas: Agosto 2017

[illegible]

PEE31 Índice: Agosto 2017

NOMBRE DEL CAPÍTULO	REVISIÓN
Página titular	Agosto 2017
Lista de enmiendas	Agosto 2017
Índice	Agosto 2017
Calibración de patrones de inductancia	Agosto 2017
Apéndice 1	Agosto 2017
Apéndice 2	Agosto 2017
Apéndice 3	Agosto 2017

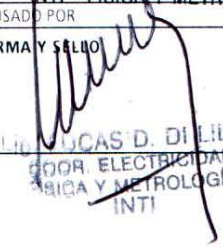
PREPARADO POR

FIRMA Y SELLO


MARCELO CAZABAT
UT ELECTRICIDAD
INTI - FÍSICA Y METROLOGÍA

REVISADO POR

FIRMA Y SELLO


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

PEE31: Agosto 2017

1. Objeto

Calibración de patrones de capacidad.

2. Alcance

Los patrones que abarquen el rango de 1 pF a 1000 pF de los siguientes valores nominales enteros 1, 2 ...10, 20, ...100, 200,...1000 pF en el rango de frecuencia de 1...2 kHz. Dichos capacitores no deben diferir más de 1.10^{-4} de su valor nominal y su factor de disipación no debe ser mayor que 1.10^{-4} .

3. Definiciones y abreviaturas

C_X : capacidad incógnita a la temperatura de medición.

C_{XR} : capacidad incógnita a la temperatura de referencia.

C_M : promedio de la capacidad incógnita

C_P : capacidad patrón.

C_{in} : capacidad de inyección.

C'_{in} : capacidad parásita de inyección de G_{in} .

G_{in} : conductancia de inyección.

$C_p(N^\circ \dots)$: identificación del capacitor patrón.

D : relación nominal del divisor.

k' : corrección en fase de la relación D .

D_C : divisor de inyección de corriente en fase

D_G : divisor de inyección de corriente en cuadratura

$\alpha_{1(2)}$: lectura del divisor DC , balance 1 (2)

$\beta_{1(2)}$: lectura del divisor DG , balance 1 (2)

T_A : temperatura ambiente.

T_P : temperatura del capacitor patrón.

T_X : temperatura del capacitor incógnita.

T_R : temperatura de referencia

K_X : coeficiente de temperatura del capacitor incógnita

K_P : coeficiente de temperatura del capacitor patrón

r : relación del transformador de inyección

4. Referencias

4.1. "Comparison calibration of inductive voltage dividers" . Raymond V. Lisle and Thomas Zapf. ISA Transactions: 3 (238-242) 1964.

4.2. "Nuevo sistema para comparar capacitores y establecer una escala de capacidad en el INTI" Anales del II SEMETRO 96. García-Cazabat.

4.3. "Autocalibración de divisores inductivos de tensión en el INTI" Cazabat, Marcelo H. 6tas Jornadas de Desarrollo e Innovación Tecnológica . INTI . Octubre de 2007. Trabajo N° 169.

PEE31: Agosto 2017

5. Responsabilidades

5.1. Técnicos del laboratorio de Capacidad e Inductancia en la ejecución de las mediciones y elaboración de los resultados.

5.2. El coordinador del área Electricidad supervisa las mediciones, verifica que se cumplan los procedimientos y revisa los resultados.

6. Instrucciones

Para la comparación se utiliza el circuito descrito en la publicación de la referencia cuyo esquema básico se muestra en la Figura 1.

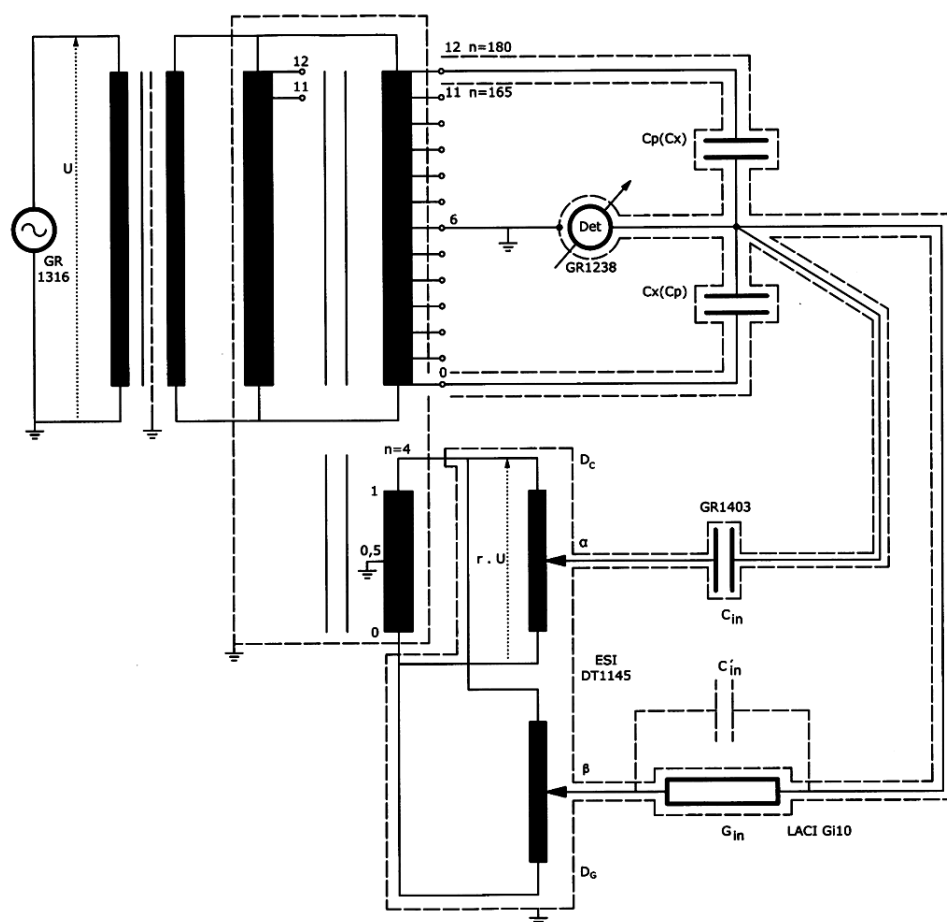


Figura 1 Circuito de comparación

Dependiendo del valor nominal del capacitor incógnita se elige la relación del divisor y el valor nominal total del patrón (éste puede ser único o el paralelo de dos o más patrones).

En la tabla 1 (apéndice 1) se muestran las posibles combinaciones, para cada valor nominal de la incógnita, del/ los patrón/ es a utilizar, bornes de entrada-salida del divisor para la relación correspondiente y el valor del capacitor de inyección.

Los bobinados de magnetización y principal se conectan externamente en paralelo por sus bornes homólogos, cortocircuitando el borne de alta de 180 espiras del primero con el borne N° 12 del segundo en caso de utilizar los 12 pasos del divisor principal con lo cual la relación $r = 4 / 180$; en cambio si se usan 11 pasos a la entrada, se conectará el borne de alta de 165 espiras del bobinado de magnetización con el N° 11 del bobinado principal, entonces $r = 4 / 165$.

Para una comparación en relación 1:1 se realizan dos balances, el primero (α_1, β_1) con el borne de alta de la incógnita conectado al punto 0 del divisor principal y el del patrón en el punto 12 y el segundo (α_2, β_2), invirtiendo estos capacitores.

PEE31: Agosto 2017

Para una comparación en otra relación se realiza sólo un balance (α_1, β_1).

Estos balances se obtienen ajustando alternativamente D_c y D_g .

La tensión aplicada será de (100 ± 2) V rms con una frecuencia en el rango de 1...2 kHz ($\pm 0,1\%$).

Los valores que surjan del procedimiento de calibración se volcarán en:

- Formulario PEE31/01 (Apéndice 2) para la relación 1:1 ó
- Formulario PEE31/02 (Apéndice 3) para otra relación.

7. Incertidumbre: Modelos matemáticos y cálculo de incertidumbres.

Modelo matemático para relación 1:1

$$C_X = C_P + (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot C_{in} \cdot r + (\beta_1 - \beta_2) \cdot C'_{in} \cdot r \quad (7.1)$$

Tabla i: Ejemplo de cálculo de incertidumbre para relación 1:1

$$C_X = C_P + (\alpha_1 - \alpha_2) C_{in} r + (\beta_1 - \beta_2) C'_{in} r$$

10 pF relación 1:1 D= 6/12 1kHz y 1,592 kHz

Fuente de Incetidumbre	Simbolo	$C_i^{(1)}$	Valor (\pm)	Distribución ⁽²⁾	Factor	$v_i^{(3)}$	u_i^2
capacidad patrón(calib.,tensión,temperatura)	Cp	1	1,1E-06 pF	n	1,0	50	1,21E-12 pF ²
drift del patrón	d	1	4,0E-07 pF	n	1,0	50	1,60E-13 pF ²
indicación 1 divisor de inyección capacitivo	a ₁	2,22E-03 pF	5,00E-05	r	1,7	50	4,11E-15 pF ²
indicación 2 divisor de inyección capacitivo	a ₂	2,22E-03 pF	5,00E-05	r	1,7	50	4,11E-15 pF ²
indicación 1 divisor de inyección resistivo	b ₁	1,30E-03 pF	1,0E-04	r	1,7	50	5,63E-15 pF ²
indicación 2 divisor de inyección resistivo	b ₂	1,30E-03 pF	1,0E-04	r	1,7	50	5,63E-15 pF ²
capacitor de inyección	C in	1,00E-03	1,4E-04 pF	n	2,0	16	4,90E-15 pF ²
capacidad parásita de resist. de inyección	C' in	3,30E-05	2,0E-02 pF	n	2,0	5	1,09E-13 pF ²
relación transformador de inyección	r	5,00E-02 pF	5,0E-06	n	1,0	5	6,25E-14 pF ²
coeficiente de temperatura de C _x	K _T	5,00E+00 pF*°C	1,00E-08 °C ⁻¹	r	1,7	50	8,33E-16 pF ²
temperatura de C _x	T _x	1,00E-07 pF*°C ⁻¹	5,00E-01 °C	r	1,7	5	8,33E-16 pF ²
Incertidumbre tipo A	U _A	1,00E+00	5,0E-08 pF	n	1,0	1	2,50E-15 pF ²
Incertidumbre combinada	u_c			N (1σ)		7,5E+01	1,25E-06 pF
Incertidumbre expandida (k=2)	U			N (95%)	2,0		± 0,002 fF

(1) C_i Coeficientes de sensibilidad

(2) N: normal; R:rectangular

(3) Grados de libertad

relativa

u = ± 0,25 10-6

Capacitor patrón Andeen Hagerling AH 11A calibrado por BIPM

Capacitor incógnita Andeen Hagerling AH 11A

Modelo matemático para una relación distinta de 1:1

Si $C_x > C_p$ con $D < 0,5$ ó si $C_x < C_p$ con $D > 0,5$ entonces:

$$C_x = \frac{1}{D+k'} \left\{ [1-(D+k')] \cdot C_p + (\alpha_1 - 0,5) \cdot C_{in} \cdot r + (\beta_1 - 0,5) \cdot C'_{in} \cdot r \right\} \quad (7.2)$$

y si $C_x < C_p$ con $D < 0,5$ ó si $C_x > C_p$ con $D > 0,5$ entonces:

$$C_x = \frac{(D+k') \cdot C_p - (\alpha_1 - 0,5) C_{in} \cdot r - (\beta_1 - 0,5) \cdot C'_{in} \cdot r}{1-(D+k')} \quad (7.3)$$

PEE31: Agosto 2017

Tabla ii: Ejemplo de cálculo de incertidumbre para una relación distinta de 1:1

$$C_X = \frac{((D + k')C_p - (\alpha_1 - 0,5)C_{in}r - (\beta_1 - 0,5)C'_{in}r)}{1 - (D + k')}$$

1000 pF relación 10:1 D=10/11 GR 1404

Fuente de Incertidumbre	Símbolo	$c_i^{(1)}$	Valor (\pm)	Distribución ⁽²⁾	Factor	$v_i^{(3)}$	u_i^2
capacidad patrón (calib., tensión, temp.)	C _p	10	1,1E-05 pF	n	1,0	50	1,21E-08 pF ²
drift del patrón	d	10	8,0E-06 pF	n	1,0	50	6,40E-09 pF ²
relación corregida del divisor principal	D+k'	12100 pF	1,00E-08	n	1,0	10	1,46E-08 pF ²
indicación divisor de inyección capacitivo	a ₁	-2,47E+00 pF	5,00E-05	r	1,7	50	5,08E-09 pF ²
indicación divisor de inyección resistivo	b ₁	1,40E-02 pF	5,00E-05	r	1,7	50	1,63E-13 pF ²
capacidad de inyección	C _{in}	1,32E-01	1,00E-03 pF	n	1,0	10	1,74E-08 pF ²
capacidad parásita de resist. de inyección	C' in	5,00E-04	1,00E-02 pF	n	1,0	10	2,50E-11 pF ²
relación transformador de inyección	r	4,13E+00 pF	5,00E-06	n	1,0	10	4,26E-10 pF ²
coef. de temperatura de C _x	K _T	3,00E+02 pF/°C	1,00E-06 °C ⁻¹	r	1,7	50	3,00E-08 pF ²
temperatura de medición de C _x	T _x	1,00E-03 pF/°C	3,00E-01 °C	r	1,7	50	3,00E-08 pF ²
Incertidumbre tipo A	U _A	1,00E+00	7,00E-05 pF	n	1,0	10	4,90E-09 pF ²
Incertidumbre combinada	u_c			N (1σ)		155,0	0,0003479 pF
Incertidumbre expandida (k=2)	U			N (95%)	1,98		±0,687 pF

relativa **u = ± 0,69 10⁻⁶**

Capacitor patrón Andeen Hagerling AH 11A calibrado por BIPM

Capacitor incógnita GR 1404 A

En caso de ser necesaria una corrección de la capacidad incógnita por temperatura a un valor de referencia TR obtenemos:

$$C_{XR} = C_X \left[1 + K_X (T_R - T_X) \right]$$

Para una corrección por temperatura en el patrón, se procede de manera similar utilizando el coeficiente K_p correspondiente.

Se realizarán tres mediciones y se observará el grado de repetibilidad a través de la incertidumbre tipo A del promedio (u_A). Si ésta es inferior a la mitad de la incertidumbre combinada no sería necesario repetir la medición a menos que se quieran obtener más datos estadísticos; si la supera se repetirá hasta que u_A satisfaga la condición planteada hasta un máximo de diez mediciones.

De esta manera, las incertidumbres mínimas de calibración a terceros son las que siguen:

10 pF	$u = 0,4 \cdot 10^{-6}$	(k=2)	f = 1 y 1,592 kHz
100 pF	$u = 0,6 \cdot 10^{-6}$	(k=2)	f = 1 y 1,592 kHz
1000 pF	$u = 2 \cdot 10^{-6}$	(k=2)	f = 1 kHz
11000 pF	$u = 3 \cdot 10^{-6}$	(k=2)	f = 1 ... 2 kHz

8. Identificación y almacenamiento

Los capacitores a ser medidos se identifican de acuerdo con las instrucciones del Manual de la Calidad del INTI - Física y Metrología y son guardados desde su ingreso hasta la devolución al cliente en el Lab.1 del área de Capacidad e Inductancia, ver capítulo 9 del MC.

PEE31: Agosto 2017

Instrumental a utilizar

INSTRUMENTO		MARCA	MODELO	Nº SERIE
Capacitor	10 pF	GR	1408	189
	10 pF	AH	11A	01171
	10 pF	GR	1404-C	1596
	10 pF	GR	1404-C	1777
	20 pF	AH	11A	01170
	40 pF	AH	11A	01169
	100 pF	AH	11A	01168
	100 pF	GR	1404-B	2866-A
	100 pF	GR	1404-B	1803
	100 pF	GR	1404-B	1665
	1000 pF	GR	1404-A	1811
	1000 pF	GR	1404-A	1826
	1000 pF	QT	1404-A	6121062
	0,01 pF	GR	1403-R	3342
	0,1 pF	GR	1403-N	4250
	1 pF	GR	1403-K	5138
	10 pF	GR	1403-G	5238
	100 pF	GR	1403-D	5162
Divisor inductivo de tensión		LACI	DI-12	01
Divisor inductivo de tensión		ESI	DT 1145	01
Divisor inductivo de tensión		ESI	DT 1145	02
Resistor		LACI	Gi 10	01
Oscilador		GR	1316	LN 06166
Detector		GR	1238	0519
Multímetro		APPA	97R	71903678
Frecuencímetro		FLUKE	PM 6665	640961
Transformador de tensión		R&S	TAN 96901	M1305/61
Nodo de conexión blindado		LACI	NC	01
Termo resistencia de platino		LACI	TP	A01
Termómetro de vidrio		HERFOR		6418
Termómetro - higrómetro		TFA		TH 1

9. Condiciones ambientales

Durante la calibración, la temperatura ambiente deberá ser $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$ y la humedad relativa ambiente no podrá superar el 70%.

Los patrones a ser calibrados deberán permanecer en el Lab.1, al menos, 72 h. antes de la calibración y en las condiciones ambientales de medición durante las 24 h. anteriores al comienzo de la misma.

PEE31: Agosto 2017

10. Registros de la calidad

Se conservarán registros manuscritos de las observaciones originales, original o copia de registros de salida de computadora (cuando sea aplicable), copia de los certificados emitidos, así también como una copia de la orden de trabajo, salida de elementos y toda documentación relacionada de acuerdo con el Manual de la Calidad, capítulo 11.

11. Precauciones

De acuerdo a las previsiones del Decreto 937/74, Artículo 1, sección d, ésta es considerada una tarea riesgosa. Por lo tanto, se deben tomar las precauciones necesarias para evitar descargas eléctricas.

12. Apéndices y anexos

APÉNDICE N°	TÍTULO
1	Tabla 1
2	Formulario PEE31/01
3	Formulario PEE31/02

PEE31: Apéndice 1 Agosto 2017

Tabla1

Incógnita C _x V. nominal (pF)	Patrón C _p Valor nominal (pF)	Relación incógnita/patrón	Bornes divisor		C _{in} (pF)
			entrada	salida	
1	10	1:10	0-11	1 ó 10	0,01 ó 0,1
2	20	1:10	0-11	1 ó 10	0,1
3	20+10	1:10	0-11	1 ó 10	0,1
4	40	1:10	0-11	1 ó 10	0,1
5	10	1:2	0-12	4 u 8	0,1
5	40+10	1:10	0-11	1 ó 10	0,1
6	40+20	1:10	0-11	1 ó 10	0,1
7	40+20+10	1:10	0-11	1 ó 10	0,1
8	40	1:5	0-12	2 ó 10	0,1
9	40+20+10+10+10	1:10	0-11	1 ó 10	0,1
10	10	1:1	0-12	6	0,1 ó 1
20	10	2:1	0-12	4 u 8	0,1
20	20	1:1	0-12	6	0,1 ó 1
30	10	3:1	0-12	3 ó 9	0,1
30	20+10	1:1	0-12	6	1
40	20	2:1	0-12	4 u 8	1
40	40	1:1	0-12	6	1
50	10	5:1	0-12	2 ó 10	0,1
50	40+10	1:1	0-12	6	1
60	20	3:1	0-12	3 ó 9	1
60	40+20	1:1	0-12	6	1
70	40+20+10	1:1	0-12	6	1
80	40	2:1	0-12	4 u 8	1
90(+10)	100	1:1	0-12	6	1 ó 10
100	100	1:1	0-12	6	1 ó 10
100	10	10:1	0-11	1 ó 10	0,1 ó 1
200	100	2:1	0-12	4 u 8	1
200	20	10:1	0-11	1 ó 10	1
300	100	3:1	0-12	3 ó 9	1
300	20+10	10:1	0-11	1 ó 10	1
400	40	10:1	0-11	1 ó 10	1
500	100	5:1	0-12	2 ó 10	1
500	40+10	10:1	0-11	1 ó 10	1
600	200	3:1	0-12	3 ó 9	10
600	40+20	10:1	0-11	1 ó 10	1
700	40+20+10	10:1	0-11	1 ó 10	1
800	400	2:1	0-12	4 u 8	10
800	40+20+10+10	10:1	0-11	1 ó 10	1
900(+100)	100	10:1	0-11	1 ó 10	1 ó 10

PEE31: Apéndice 1 Agosto 2017

Incógnita C _x V. nominal (pF)	Patrón C _p Valor nominal (pF)	Relación incógnita/patrón	Bornes divisor		C _{in} (pF)
			entrada	salida	
1000	100	10:1	0-11	1 ó 10	1 ó 10
1000	1000	1:1	0-12	6	10 ó 100

Cada valor entre paréntesis en la columna de la incógnita es el valor nominal de un patrón que se conecta en paralelo con la incógnita correspondiente.

Las sumas en la columna del patrón indican los valores nominales de los patrones que se conectarán en paralelo para la comparación.

PEE31: Apéndice 2 Agosto 2017

Formulario PEE31/01:

 Física y Metrología
Formulario PEE 31.01
Julio 2012

Cliente:			
Material:			
OT N°:			Responsable:
Observaciones:			

Med	Fecha	T_A (°C)	T_P (°C)	T_K (°C)	C_P (N°)	C_P (pF)	C_{in} (pF)	C'_{in} (pF)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								

Med	α_1	β_1	α_2	β_2	C_X (pF)	C_{XR} (pF) a $T_R =$ °C	C_M (pF)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							

Frecuencia :	Tensión de alimentación:	Humedad máxima de medición:	%
Temperatura durante acondicionamiento de 24 h.	min.: °C	máx.: °C	
Temperatura durante la calibración	min.: °C	máx.: °C	

PEE31: Apéndice 3 Agosto 2017

Formulario PEE31/02:Formulario PEE 31.02
Julio 2012

Cliente:			
Material:			
OT N°:			Responsable:
Observaciones:			

Med	Fecha	T _A (°C)	T _F (°C)	T _X (°C)	C _F (N°)	C _F (pF)	C _{in} (pF)	C' _{in} (pF)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								

Med	D Ent/Sal Bomes	k' (10 ⁻⁶)	r	α ₁	β ₁	C _X (pF)	C _{XN} (pF) a T _R = °C	C _M (pF)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								

Frecuencia :	Tensión de alimentación:	Humedad máxima de medición:	%
Temperatura durante acondicionamiento de 24 h.	min.: °C	máx.: °C	
Temperatura durante la calibración	min.: °C	máx.: °C	