

Instituto Nacional  
de Tecnología Industrial

Centro de Desarrollo e Investigación  
en Física y Metrología

Procedimiento específico: PEE32

## **MEDICION DE CAPACIDAD CON SISTEMA PUENTE GR 1620-A**

Revisión: Agosto 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.

## PEE32 Lista de enmiendas: Agosto 2012

[illegible]


PEE32 Índice: Agosto 2012

NOMBRE DEL CAPÍTULO	REVISIÓN
Página titular	Agosto 2012
Lista de enmiendas	Agosto 2012
Índice	Agosto 2012
Medición de capacidad con sistema puente GR 1620-a	Agosto 2012
Apéndice 1	Agosto 2012
Apéndice 2	Agosto 2012
Apéndice 3	Agosto 2012
Apéndice 4	Agosto 2012
Apéndice 5	Agosto 2012

PREPARADO POR

**FIRMA Y SELLO**  
  
**MARCELO CAZABAT**  
 UT ELECTRICIDAD

REVISADO POR

**FIRMA Y SELLO**  
  
**Lic. LUCAS D. DI LILLO**

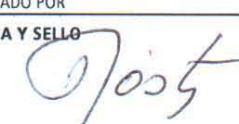
COORD. ELECTRICIDAD  
 FÍSICA Y METROLOGÍA  
 INTI

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

PEE32: Agosto 2012

## 1. Objeto

Establecer el método de medición de capacitores con dicho sistema.

## 2. Alcance

Los capacitores que abarquen el rango de 0,001 pF a 1,11111  $\mu$ F en el rango de frecuencias de 100 Hz hasta 10 kHz.

## 3. Definiciones y abreviaturas

$C_X$	capacidad incógnita.
$C_{PE}$	capacidad patrón externa.
$C_{XL}$	capacidad leída en el puente al medir $C_X$ .
$C_{GT X}$	capacidad a tierra de salida de alta del transformador conectada a la incógnita.
$C_{G PE}$	capacidad a tierra de borne de alta de $C_{PE}$ .
$C_{GT PE}$	capacidad a tierra de salida de alta del transformador conectada al patrón externo.
$C_N$	capacidad del patrón interno utilizado de mayor valor.
$C_{GT N}$	capacidad a tierra de salida de alta del transformador conectada a $C_N$ .
$C_{GN}$	capacidad a tierra de borne de alta de $C_N$ .
$L_X$	inductancia parásita de la salida conectada a la incógnita.
$L_{N1}$	inductancia parásita de la salida conectada a $C_{EXT}$ .
$L_{N2}$	inductancia parásita de la salida conectada a $C_N$ .
$C_0$	capacidad residual del puente incluida la de los cables de conexión.
$r$	producto de $M$ y factor multiplicador $F$ de patrón externo (ver manual).
$C_{PEL}$	capacidad leída en el puente al medir $C_{PE}$ .
$\delta_{XL}$	resolución de $C_{XL}$ .
$\delta_{PEL}$	resolución de $C_{PEL}$ .
$C_M$	promedio de la capacidad incógnita.
$\delta_0$	resolución de $C_0$ .
$u_A$	incertidumbre tipo A
$D_L$	factor de disipación leído.
$D$	factor de disipación calculado.
$G_L$	conductancia leída.
$D_M$	factor de disipación promedio.
$U$	tensión aplicada al puente.
$f$	frecuencia de la tensión aplicada.
$\omega$	velocidad angular.
term	cantidad de terminales considerados en el capacitor incógnita.
$T_A$	temperatura ambiente de medición.

## 4. Referencias

- 4.1. Manual de operaciones del sistema de medición de capacidad General Radio 1620-A.
- 4.2. Caracterización del puente GR 1615 A: determinación de las inductancias parásitas de las salidas del transformador de relación al capacitor incógnita y a los patrones (informe técnico interno).

## 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.

PEE32: Agosto 2012

## 6. Instrucciones

El puente se ajusta y calibra según el procedimiento descrito en la sección 6 del manual de la referencia.

Las instrucciones para la medición se hallan en el citado manual.

## 7. Modelo matemático e incertidumbre

La incertidumbre básica de medición indicada en el manual del puente puede ser considerablemente disminuída realizando la calibración contra un patrón externo del tipo GR 1404

La fórmula general de la capacidad incógnita  $C_x$  es :

$$C_x = [C_{PE} \cdot r + C_{XL} + \delta_{XL}] [1 - \omega^2 L_x (C_{PE} \cdot r + C_{XL} + C_{GT X})] [1 + \omega^2 (L_{N1} (C_{PE} + C_{GT PE} + C_{GT PE}) + L_{N2} (C_N + C_{GT N} + C_{GN}))] - C_0 + \delta_0$$

El esquema del puente con sus parásitos se observa en la figura del apéndice 5. Las inductancias parásitas fueron medidas y los valores hallados se encuentran en el trabajo de la referencia 4.2 . Los valores típicos de las capacidades parásitas se hallan en el manual de la referencia 4.1 en la sección 3.9.

En casos de lectura directa (sin utilización de patrón externo) para capacidades que no superen 0,1  $\mu F$  medidas a 1 kHz ó 0,001  $\mu F$  a 10 kHz el modelo matemático queda reducido a la siguiente expresión:

$$C_x = C_{XL} + \delta_{XL} - C_0 + \delta_0$$

Para mayores valores de capacidad incógnita y/o frecuencia se aplicará la formula general de  $C_x$  si se mide contra un patrón externo por sustitución de igual valor nominal la expresión es:

$$C_x = C_{PE} + (C_{XL} \cdot C_{PEL}) + \delta_{XL} + \delta_{PEL}$$

$C_x = 1,1 \mu F$  a 1 kHz

Fuente de Incetidumbre	Simbolo	C <sub>i</sub>	Valor (±)	Distrib.	Factor	v <sub>i</sub>	u <sub>i</sub>
Patron externo	C <sub>PE</sub>	1000	5,0E-09 $\mu F$	n	2,0	55	6,25E-12 $\mu F2$
Capacidad leída	C <sub>XL</sub>	1	1,0E-05 $\mu F$	n	2,0	50	2,50E-11 $\mu F2$
Resolución de la capacidad leída	$\delta_{XL}$	1	1,0E-06 $\mu F$	n	2,0	50	2,50E-13 $\mu F2$
Capacidad residual	C <sub>0</sub>	1	0,0E+00 $\mu F$	n	2,0	50	0,00E+00 $\mu F2$
Resolución de la capacidad residual	$\delta_0$	1	0,0E+00 $\mu F$	n	2,0	50	0,00E+00 $\mu F2$
Relación de ramas del transformador	r	1,00E-03	2,0E-02	r	1,7	50	1,33E-10 $\mu F2$
inductancia parásita lado incógnita	L <sub>x</sub>	4,80E-05 S <sup>2</sup>	1,00E-01 $\mu H$	r	1,7	10	7,68E-12 $\mu F2$
inductancia parásita lado C <sub>PE</sub>	L <sub>N1</sub>	7,00E-08 S <sup>2</sup>	1,00E+00 $\mu H$	r	1,7	10	1,63E-15 $\mu F2$
inductancia parásita lado patrón int.	L <sub>N2</sub>	4,80E-07 S <sup>2</sup>	1,00E-01 $\mu H$	r	1,7	10	7,68E-16 $\mu F2$
Cap. a tierra de sal. del transf. a C <sub>x</sub>	C <sub>GT X</sub>	1,74E-05	5,00E-03 $\mu F$	r	1,7	50	2,52E-15 $\mu F2$
Cap. a tierra de sal. del transf. a C <sub>PE</sub>	C <sub>GT PE</sub>	1,30E-04	1,00E-04 $\mu F$	r	1,7	50	5,63E-17 $\mu F2$
Cap. a tierra de C <sub>PE</sub>	C <sub>G PE</sub>	1,30E-04	5,00E-05 $\mu F$	r	1,7	50	1,41E-17 $\mu F2$
Patrones int. de capacidad	C <sub>N</sub>	2,00E-05	1,00E-07 $\mu F$	r	1,7	50	1,33E-24 $\mu F2$
Cap. a tierra de sal. del transf. a C <sub>N</sub>	C <sub>GT N</sub>	2,00E-05	5,00E-03 $\mu F$	r	1,7	50	3,33E-15 $\mu F2$
Cap. a tierra de C <sub>N</sub>	C <sub>G N</sub>	2,00E-05	5,00E-05 $\mu F$	r	1,7	50	3,33E-19 $\mu F2$
Influencia de la frecuencia por parásitos	f	3,20E-08 $\mu F/Hz$	1,00E+01 Hz	r	1,7	50	3,41E-14 $\mu F2$
coef temp incógnita	Kt	1,10E+00 $\mu F/^{\circ}C$	2,00E-05 $^{\circ}C^{-1}$	r	1,7	50	1,61E-10 $\mu F2$
Incetidumbre tipo A	u <sub>A</sub>	1,00E+00	1,10E-05 $\mu F$	n	1,0	5	1,21E-10 $\mu F2$
<b>Incetidumbre combinada</b>	<b>u<sub>C</sub></b>			<b>N (1<math>\sigma</math>)</b>		120,0	1,81E-05 $\mu F$
<b>Incetidumbre expandida (k=2)</b>	<b>U</b>			<b>N (95%)</b>	2,0		<b>± 35,8 pF</b>

Incetidumbre relativa u = ± 33 10-6

PEE32: Agosto 2012

$C_X = 1,1 \mu F$  a 10 kHz

Fuente de Incertidumbre	Símbolo	$C_i$	Valor ( $\pm$ )	Distrib.	Factor	$v_i$	$U_i$
Patrón externo	$C_{PE}$	1000	5,0E-09 $\mu F$	n	2,0	55	6,25E-12 $\mu F^2$
Capacidad leída	$C_{XL}$	1	1,1E-05 $\mu F$	n	2,0	50	3,03E-11 $\mu F^2$
Resolución de la capacidad leída	$\delta_{XL}$	1	1,0E-06 $\mu F$	n	2,0	50	2,50E-13 $\mu F^2$
Capacidad residual	$C_0$	1	0,0E+00 $\mu F$	n	2,0	50	0,00E+00 $\mu F^2$
Resolución de la capacidad residual	$\delta_0$	1	0,0E+00 $\mu F$	n	2,0	50	0,00E+00 $\mu F^2$
Relación de ramas del transformador	r	1,00E-03 $\mu F$	2,0E-02	r	1,7	50	1,33E-10 $\mu F^2$
inductancia parásita lado incógnita	$I_X$	4,80E-03 $S^2$	1,50E-01 $\mu H$	r	1,7	10	1,73E-07 $\mu F^2$
inductancia parásita lado $C_{PE}$	$I_{N1}$	7,00E-06 $S^2$	1,00E+00 $\mu H$	r	1,7	10	1,63E-11 $\mu F^2$
inductancia parásita lado patrón int.	$I_{N2}$	4,80E-05 $S^2$	1,00E-01 $\mu H$	r	1,7	10	7,68E-12 $\mu F^2$
Cap. a tierra de sal. del transf. a $C_X$	$C_{GT X}$	1,74E-03	5,00E-03 $\mu F$	r	1,7	50	2,52E-11 $\mu F^2$
Cap. a tierra de sal. del transf. a $C_{PE}$	$C_{GT PE}$	1,30E-02	1,00E-04 $\mu F$	r	1,7	50	5,63E-13 $\mu F^2$
Cap. a tierra de $C_{PE}$	$C_{G PE}$	1,30E-02	5,00E-05 $\mu F$	r	1,7	50	1,41E-13 $\mu F^2$
Patrones int. de capacidad	$C_N$	2,00E-03	1,00E-07 $\mu F$	r	1,7	50	1,33E-20 $\mu F^2$
Cap. a tierra de sal. del transf. a $C_N$	$C_{GT N}$	2,00E-03	5,00E-03 $\mu F$	r	1,7	50	3,33E-11 $\mu F^2$
Cap. a tierra de $C_N$	$C_{G N}$	2,00E-03	5,00E-05 $\mu F$	r	1,7	50	3,33E-15 $\mu F^2$
Influencia de la frecuencia por parásitos	f	3,20E-07 $\mu F/Hz$	1,00E+01 Hz	r	1,7	50	3,41E-12 $\mu F^2$
coef temp incógnita	Kt	1,10E+00 $\mu F/^{\circ}C$	2,00E-05 $^{\circ}C^{-1}$	r	1,7	50	1,61E-10 $\mu F^2$
Incertidumbre tipo A	$u_A$	1,00E+00	1,10E-05 $\mu F$	n	1,0	5	1,21E-10 $\mu F^2$
<b>Incertidumbre combinada</b>	<b><math>u_C</math></b>			<b>N (<math>1\sigma</math>)</b>		10,0	4,16E-04 $\mu F$
<b>Incertidumbre expandida (k=2)</b>	<b>U</b>			<b>N (95%)</b>	2,2		<b><math>\pm 927,3</math> pF</b>

Incertidumbre relativa  $u = \pm 843$  10-6

Para bajas frecuencias y bajas capacidades la incertidumbre será incrementada por efectos de una menor sensibilidad.

$C_X = 0.001$  pF 1 kHz,  $U=30V$  3 terminales coaxiales

Fuente de incertidumbre	Símbolo	$C_i$	Valor ( $\pm$ )	Distrib.	Factor	$v_i$	$U_i$
Lectura de capacidad	$C_{XL}$	1	3,0E-05 pF	r	1,7	50	3,00E-10 pF <sup>2</sup>
Resolution de $C_{XL}$	$\delta_{XL}$	1	2,0E-05 pF	n	2,0	50	1,00E-10 $\mu F^2$
Capacidad residual	$C_0$	1	0,0E+00 pF	n	2,0	50	0,00E+00 pF <sup>2</sup>
Resolución de $C_0$	$\delta_0$	1	0,0E+00 pF	n	2,0	50	0,00E+00 $\mu F^2$
Incertidumbre tipo A	$u_A$	1	3,00E-05 pF	n	2,0	10	2,25E-10 pF <sup>2</sup>
<b>Incertidumbre combinada</b>	<b><math>u_C</math></b>			<b>N (<math>1\sigma</math>)</b>		55,3	2,50E-05 pF
<b>Incertidumbre expandida (k=2)</b>	<b>U</b>			<b>N (95%)</b>	2,0		<b>5,0E-05 pF</b>

La capacidad incógnita queda definida como el cambio de capacidad introducido en el puente al conectar en sus bornes el capacitor a calibrar.

En la tabla 1 del apéndice 1 se muestran las incertidumbres mínimas de calibración.

Los valores que surjan del procedimiento de calibración se volcarán en el formulario PEE32/01 ó PEE32/02 ó PEE32/03 que obran en los apéndices 2, 3 y 4 respectivamente.

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.

## 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.

PEE32: Agosto 2012

## 9. Instrumental a utilizar

Instrumento	Marca	Modelo	N° serie
Puente de capacidad	General Radio	1615 A	2007
Detector	General Radio	1232	7654
Oscilador	General Radio	1311	3635
Capacitor patrón	GR	1404 -C	1777
Capacitor patrón	GR	1404 -C	1596
Capacitor patrón	GR	1404 -B	1803
Capacitor patrón	GR	1404 -B	1665
Capacitor patrón	GR	1404 -A	1826
Capacitor patrón	QT	1404 -A	6121062
Termómetro	Herfor		6418
Termómetro/Higrómetro	TFA		TH 1
Multímetro	APPA	97R	71903678
Frecuencímetro	Fluke	PM 6665	640961

## 10. 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.

## 11. 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.

## 12. 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.

## 13. Apéndices y anexos

APÉNDICE N°	TÍTULO
1	Tabla 1
2	Formulario PEE32/01
3	Formulario PEE32/02
4	Formulario PEE32/03
5	Esquema del puente con parámetros parásitos

PEE32 Apéndice 1: Agosto 2012

**MEDICION DE CAPACIDAD CON SISTEMA PUENTE GR 1620-A**  
**TABLA 1**

**Incertidumbres mínimas de calibración**


INSTRUMENTOS A CALIBRAR	CAMPOS DE MEDIDA	INCERTIDUMBRE MINIMA DE MEDICION
CAPACITORES PATRONES	0,001 pF ... ≤ 0,1 pF 1 kHz ... 10 kHz	5 x 10 <sup>-5</sup> pF
	> 0,1 pF ... ≤ 1 pF 1 kHz ... 10 kHz	150 μF/F
	> 1 pF ... ≤ 100 pF 1 kHz ... 10 kHz	50 μF/F
	> 100 pF ... ≤ 1000 pF 100 Hz 1 kHz ... 10 kHz	80 μF/F 50 μF/F
	> 1 nF ... ≤ 10 nF 100 Hz ... 10 kHz	50 μF/F
	> 10 nF ... ≤ 100 nF 100 Hz ... 1 kHz 10 kHz	50 μF/F 110 μF/F
	> 0,1 μF ... ≤ 1,1 μF 100 Hz ... 1 kHz 10 kHz	70 μF/F 1000 μF/F



PEE32 Apéndice 2: Agosto 2012

**FORMULARIO PEE32/01 - MEDICIÓN UTILIZANDO PATRONES INTERNOS DEL PUENTE**

Instituto Nacional  
de Tecnología Industrial  
Centro de Investigación  
y Desarrollo en Física y Metrología

INTI  Física y Metrología

**Medición utilizando patrones internos del puente**

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

Med	Fecha	U ( V )	f ( kHz )	term	T <sub>A</sub> ( °C )	C <sub>XL</sub> ( )	C <sub>0</sub> ( )	δ <sub>XL</sub> ( pF )
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								

Med	δ <sub>0</sub> ( pF )	G <sub>L</sub> ( )	D <sub>L</sub> ( )	C <sub>X</sub> ( )	D <sub>M</sub> ( )	C <sub>M</sub> ( )
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						

Temperatura durante acondicionamiento 24 h  
Temperatura durante la calibración  
Humedad máxima de medición: ..... %

mín : ..... °C,      máx : ..... °C  
mín : ..... °C,      máx : ..... °C

FORMULARIO PEE32/01

PEE32 Apéndice 3: Agosto 2012

**FORMULARIO PEE32/02 - MEDICIÓN CONTRA PATRÓN EXTERNO USANDO LA RELACIÓN DEL TRANSFORMADOR**

Formulario PEE 32.02  
Julio 2012

INTI Física y Metrología

**MEDICIÓN CONTRA PATRÓN EXTERNO USANDO LA RELACIÓN DEL TRANSFORMADOR.**

Ciente:
Material:
OT N°:
Responsable:
Observaciones:

Med	Fecha	U ( V )	f ( kHz )	term	T <sub>A</sub> ( °C )	C <sub>0</sub> ( )	C <sub>XL</sub> ( )	C <sub>PE</sub> ( )	δ <sub>XL</sub> ( pF )
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Med	δ <sub>0</sub> ( pF )	G <sub>i</sub> ( )	D ( )	M	F Factor mult.	C <sub>v</sub> ( )	D <sub>0</sub> ( )	C <sub>M</sub> ( )
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								

Temperatura durante acondicionamiento 24 hs	mín : °C	máx : °C
Temperatura durante la calibración	mín : °C	máx : °C
Humedad máxima de medición:		%

PEE32 Apéndice 4: Agosto 2012

**FORMULARIO PEE32/02 : MEDICION CONTRA PATRON EXTERNO POR SUSTITUCIÓN DE IGUAL VALOR NOMINAL**

Formulario PEE 32.03  
Julio 2012

INTI  Física y Metrología

**MEDICIÓN C MEDICION CONTRA PATRON EXTERNO POR SUSTITUCIÓN DE IGUAL VALOR NOMINAL**

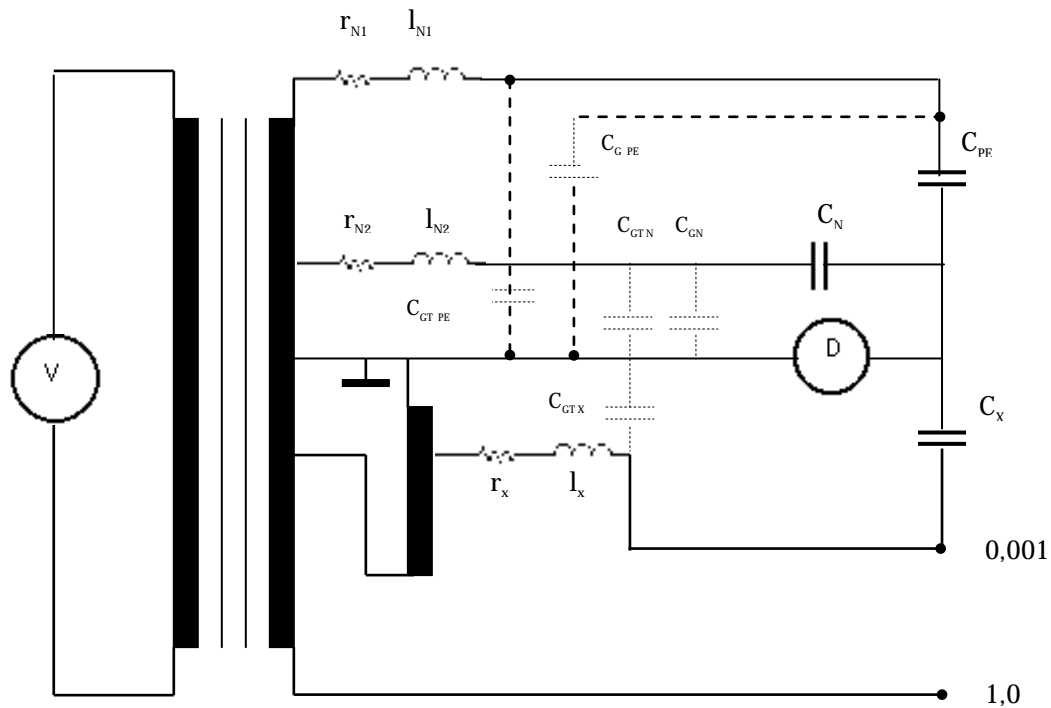
Cliente:
Material:
OT N°:
Responsable:
Observaciones:

Med.	Fecha	U ( V )	f ( kHz )	term	T <sub>A</sub> ( °C )	C <sub>XL</sub> ( )	C <sub>PEL</sub> ( )	$\delta_{XL} = \delta_{PEL}$ ( pF )
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Med	C <sub>PE</sub> ( )	G <sub>L</sub> ( )	D <sub>L</sub> ( )	C <sub>x</sub> ( )	D <sub>M</sub> ( )	C <sub>M</sub> ( )
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						

Temperatura durante acondicionamiento 24 hs	min : °C	máx : °C
Temperatura durante la calibración	min : °C	máx : °C
Humedad máxima de medición:		%

**ESQUEMA DEL PUENTE CON PARÁMETROS PARÁSITOS**



Donde:

- $C_X$  capacidad incógnita.
- $C_{PE}$  capacidad patrón externa.
- $C_{GT X}$  capacidad a tierra de salida de alta del transformador conectada a la incógnita.
- $C_{G PE}$  capacidad a tierra de borne de alta de  $C_{PE}$ .
- $C_{GT PE}$  capacidad a tierra de salida de alta del transformador conectada al patrón externo.
- $C_N$  capacidad del patrón interno utilizado de mayor valor.
- $C_{GT N}$  capacidad a tierra de salida de alta del transformador conectada a  $C_N$ .
- $C_{GN}$  capacidad a tierra de borne de alta de  $C_N$ .
- $l_X$  inductancia parásita de la salida conectada a la incógnita.
- $l_{N1}$  inductancia parásita de la salida conectada a  $C_{PE}$ .
- $l_{N2}$  inductancia parásita de la salida conectada a  $C_N$ .
- $r_{N1}$  resistencia del arrollamiento conectado a  $C_{PE}$ .
- $r_{N2}$  resistencia del arrollamiento conectado a  $C_N$ .
- $r_X$  resistencia del arrollamiento conectado a  $C_X$ .