



Desarrollo metrológico de los patrones de alta corriente del LCOE

Pascual Simón, Fernando Garnacho, Javier López,
Abderrahim Khamlichi, Tomás García, Ángel Ramírez



Ávila, 27 septiembre 2022

IMPORTANCIA DE LAS MEDIDAS DE ALTA CORRIENTE:

50/60 Hz
impulsionales

Pascual Simón (LCOE)



El funcionamiento de la red de transporte y distribución requiere de medidas de alta tensión y de alta corriente.



LEGISLACIÓN CONSOLIDADA

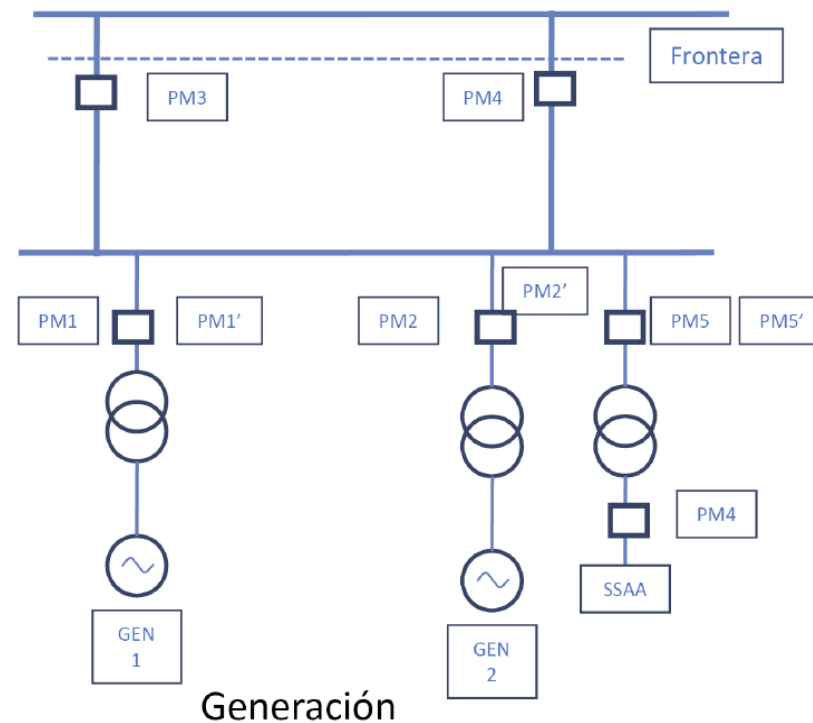
Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio
«BOE» núm. 224, de 18 de septiembre de 2007
Referencia: BOE-A-2007-16478

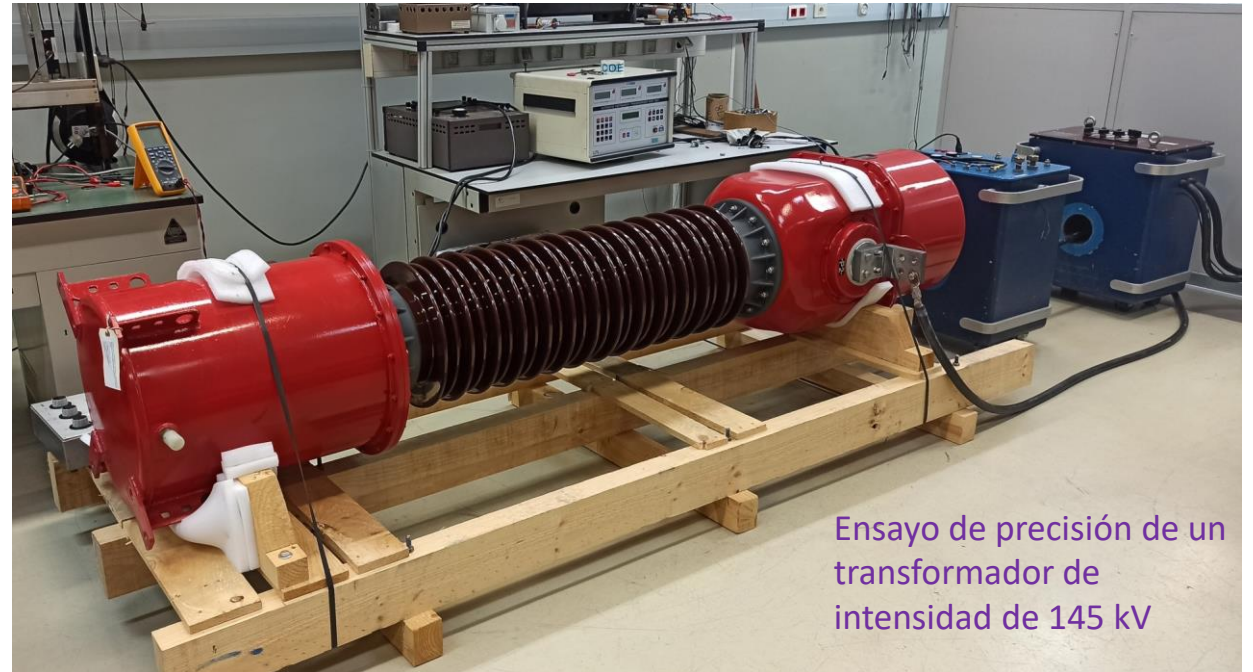
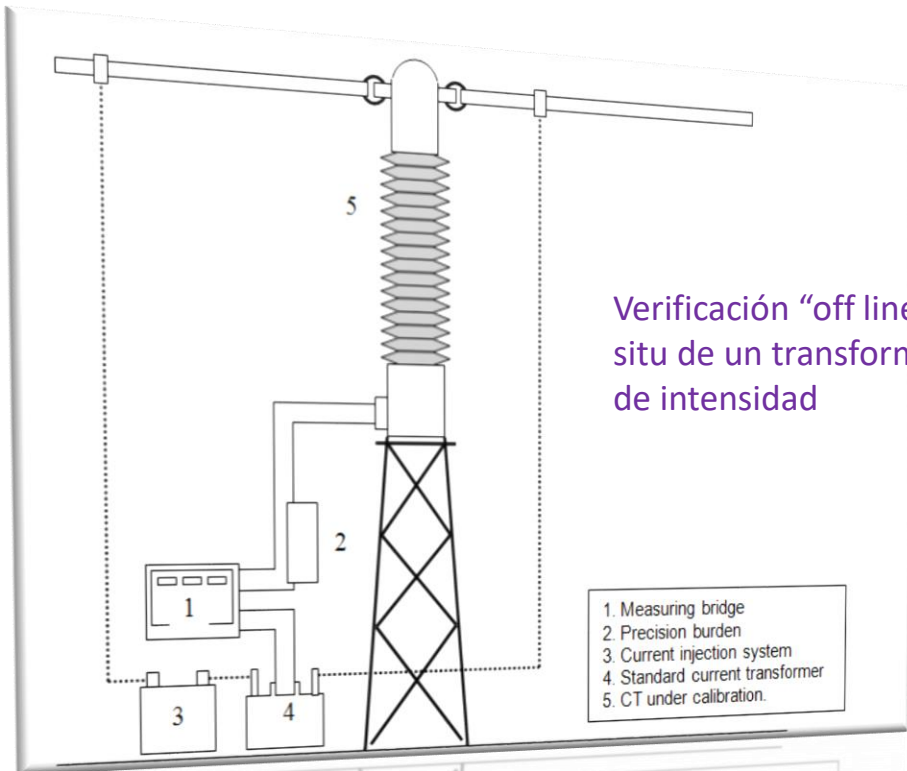
Orden TEC/1281/2019, de 19 de diciembre, por la que se aprueban las instrucciones técnicas complementarias al Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.

Ministerio para la Transición Ecológica

Red de Transporte o Distribución

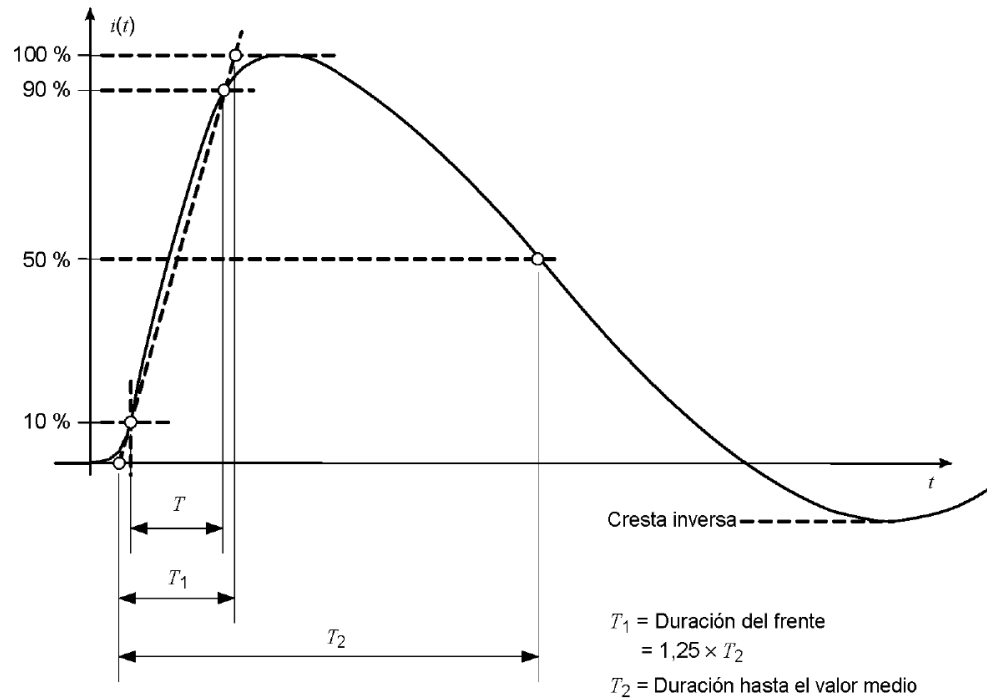


- Las medidas de alta corriente a frecuencia industrial se realizan con transformadores de intensidad con el nivel de aislamiento correspondiente de alta tensión.
- Modernamente se emplean también otros sensores con salida analógica o señales digitales con “sampled values” según IEC 61850.
- **Importancia: medida fiscal, calidad de onda y SEGURIDAD.**



Ensayo de precisión de un transformador de intensidad de 145 kV

- Los rayos son fuentes de corriente impulsional de muy alta intensidad....100 kA, 200 kA.
- Existen distintas formas de onda.



Forma del impulso	Duración del frente, $T_1, \mu\text{s}$	Duración hasta el valor medio, $T_2, \mu\text{s}$	Intensidad máxima en LCOE
4/10	$4 \mu\text{s} \pm 12,5\%$	$10 \mu\text{s} \pm 10\%$	100 kA
8/20	$8 \mu\text{s} \pm 20\%$	$20 \mu\text{s} \pm 20\%$	200 kA
10/350	$10 \mu\text{s} \pm 30\%$	$350 \mu\text{s} \pm 20\%$	200 kA

Nota: tolerancias de los parámetros temporales según [15], aunque los Comités de estudios de normalización pueden especificar otros valores de tolerancia en sus normas de producto.

Tipo del impulso	Duración	Tiempo de frente μs	Acción integral o carga	Intensidad
A	$\leq 500 \mu\text{s}$	$T_1 < 50 \mu\text{s}$	$2 \cdot 10^6 \text{ A}^2\text{s} \pm 20\%$	Pico 200 kA $\pm 10\%$
B	$\leq 5 \text{ ms}$	-	$10 \text{ C} \pm 10\%$	Media 2 kA $\pm 20\%$
C	0,25 s - 1 s	-	$200 \text{ C} \pm 20\%$	200 – 800 A
D	$\leq 500 \mu\text{s}$	$T_1 < 25 \mu\text{s}$	$2.5 \cdot 10^5 \text{ A}^2\text{s} \pm 20\%$	Pico 100 kA $\pm 10\%$

Carga de una corriente de choque, $Q = \int_0^{\infty} |i(t)| dt$

Energía específica, integral de Joule, $I^2 t = \int_0^{\infty} i^2(t) dt$

- Algunos autores asocian una mayor frecuencia y número de rayos con el cambio climático.
- Es necesario ensayar, medir y trazabilidad metrológica para garantizar protección de los efectos del rayo y canalizar las descargas a tierra:



Proteger a:

Edificios
aviación,

aerogeneradores

Barcos (caída en mástil)

transporte y distribución de energía eléctrica,

Instalaciones eléctricas BT

personas

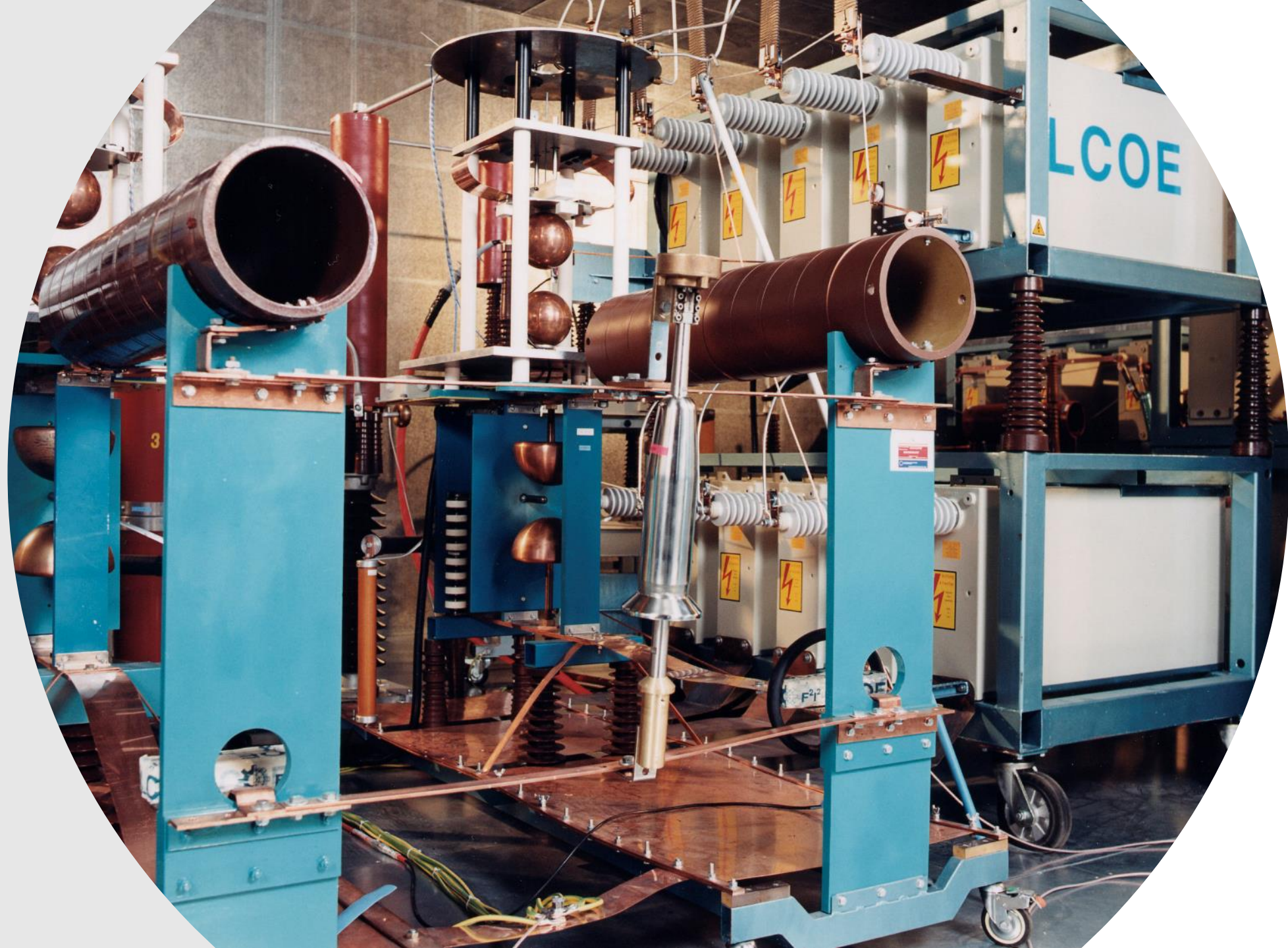
Ensayo de una pala de un aerogenerador

- Ensayos de alta tensión para evaluar los puntos de sujeción cuando se orienta la pala con ángulos distintos respecto de la nube.
- Ensayos de alta corriente para evaluar la distribución de las corrientes y caídas de tensión entre los componentes o elementos de la pala.



Ensayo de un pararrayos para edificios:

Ensayos de alta corriente de 100 kA con onda 10/350

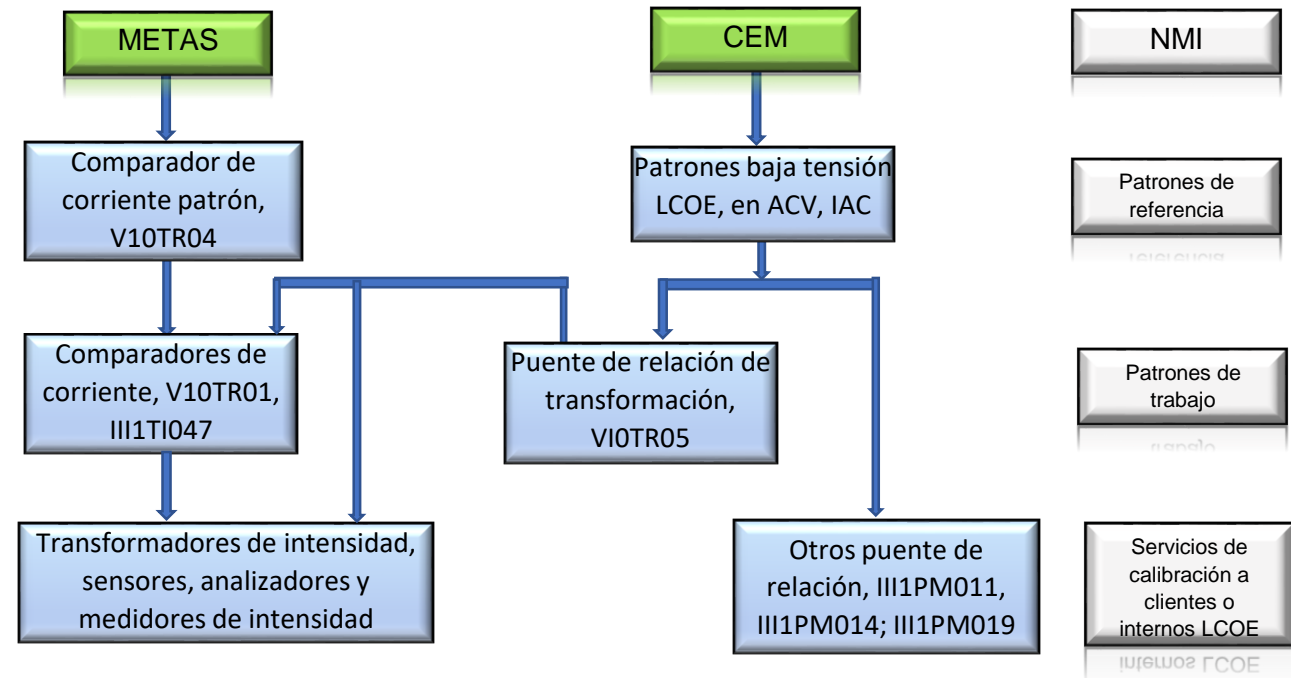


MEDIDAS DE ALTA CORRIENTE 50/60 Hz

Calibración “in situ”
de transformadores
de intensidad de alta
tension.



TRAZABILIDAD DE LAS MEDIDAS DE ALTA CORRIENTE 50/60 Hz



Los requisitos técnicos más importantes a respetar en las medidas descritos en la ponencia.

Transformador de corriente ideal

$$k_n = \frac{I_{p,nominal}}{I_{s,nominal}} = \frac{N_s}{N_p} = k_{real}$$

Transformador de corriente real o comparador sin compensación

$$k_{real} \neq k_n$$

$$\varepsilon(\%) = 100 \cdot \frac{k_n I_s - I_P}{I_P}$$

$$I_{\Delta} = I_s - \frac{I_p}{k_n}$$

$$\Delta\varphi = \varphi_s - \varphi_P$$

COMPARADOR DE CORRIENTE

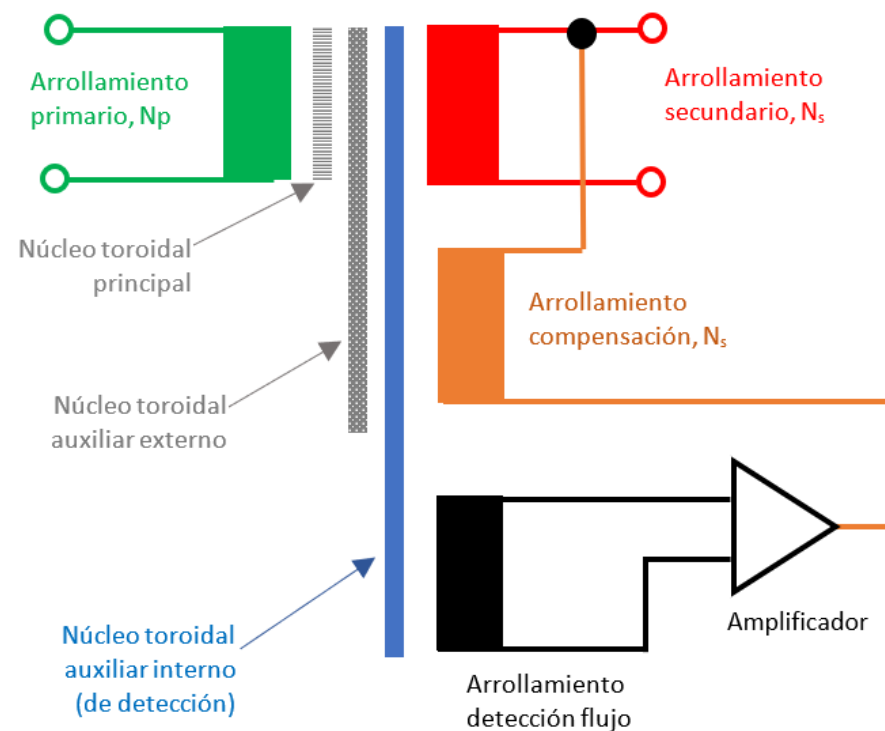
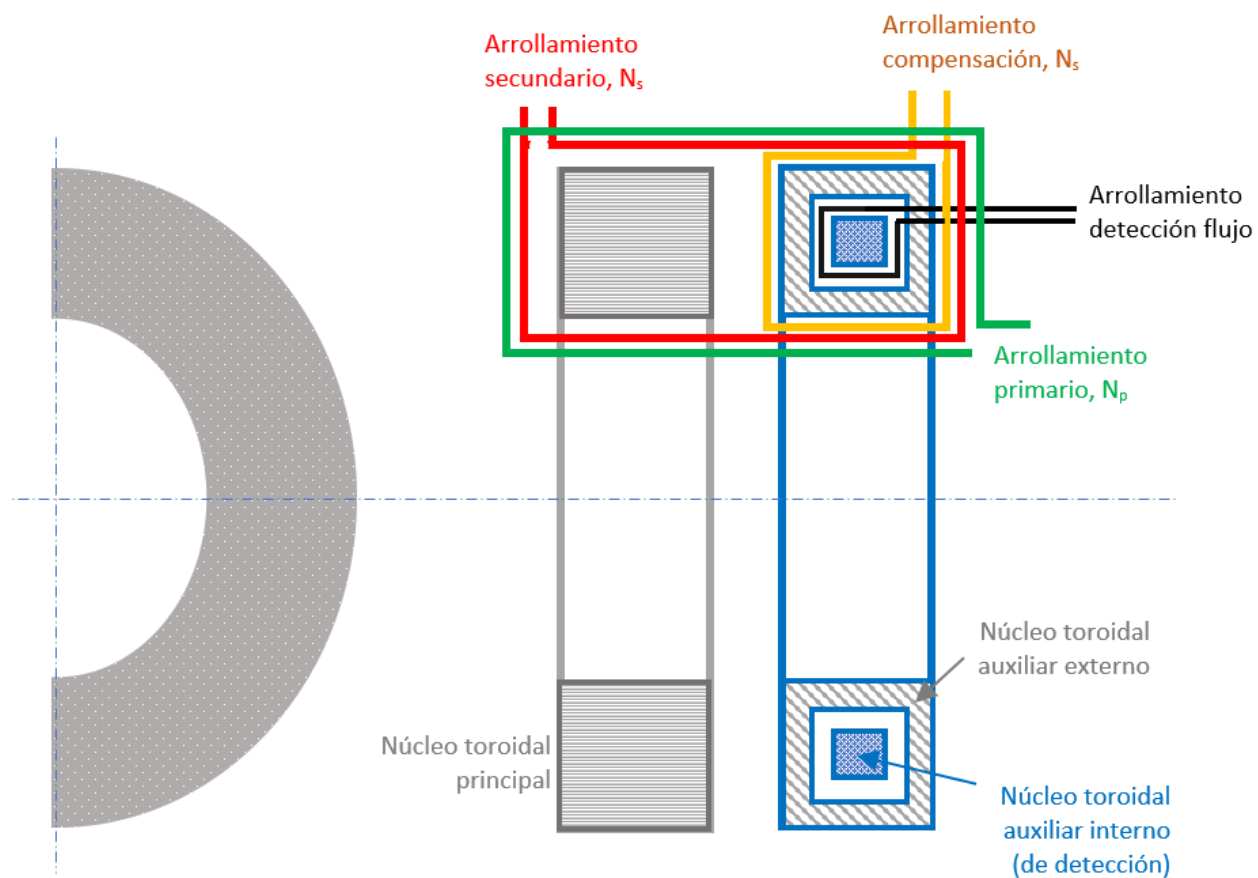
$$I_{\Delta}^* = I_{\Delta} + I_c$$

$$\varepsilon(\%) \sim 0,001\%$$

$$tal\ que: I_{\Delta}^* \ll I_{\Delta}$$

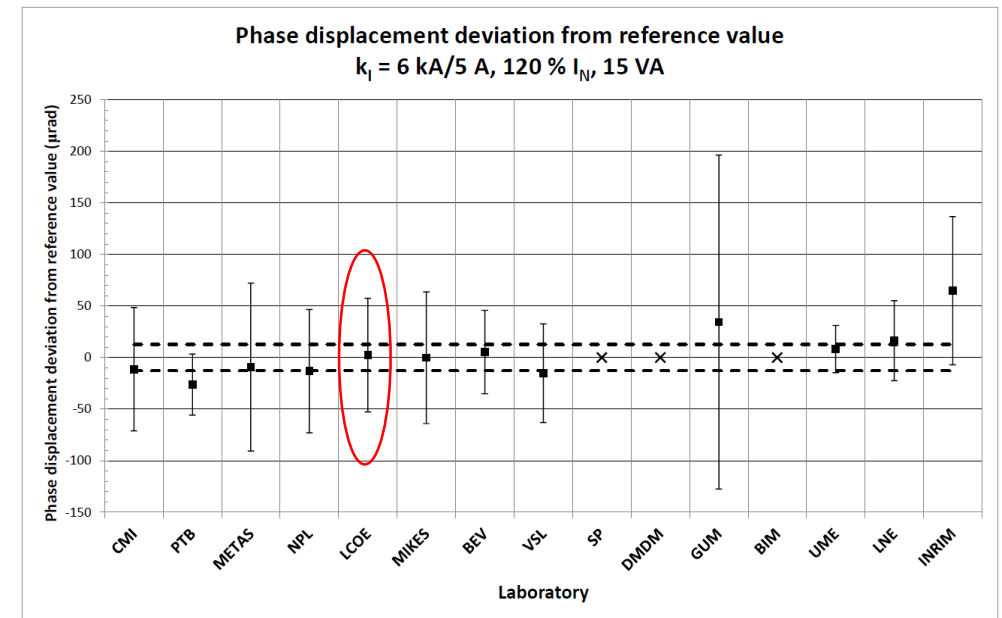
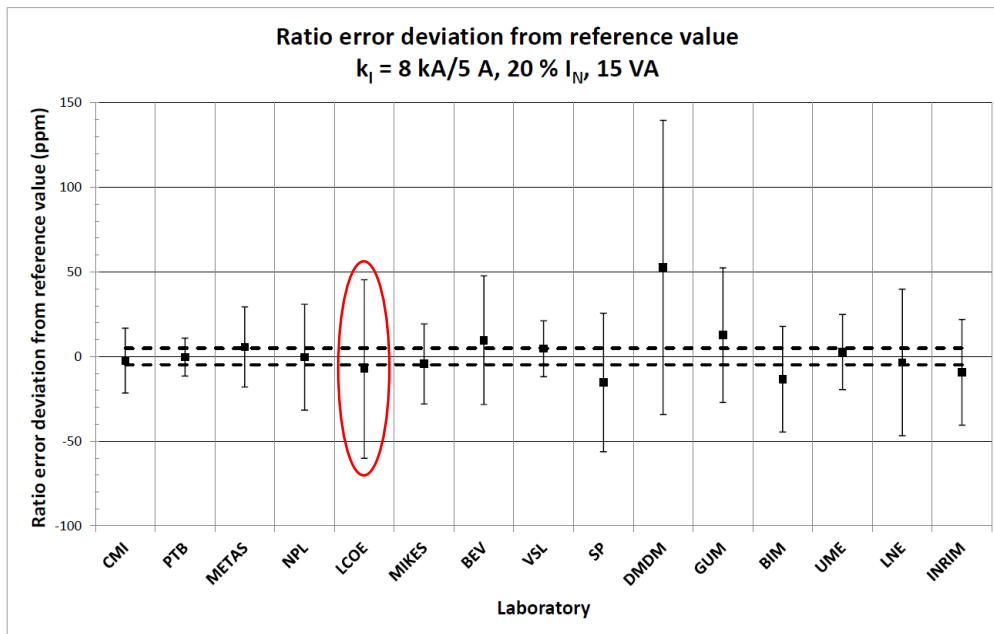
$$\Delta\varphi \sim 0,1\ min$$

COMPARADOR DE CORRIENTE



(1) El comparador de corriente está bien descrito en la bibliografía, trabajos de Kusters, Moore y Mijanic, principalmente.

Resultados de la intercomparación EM-S37



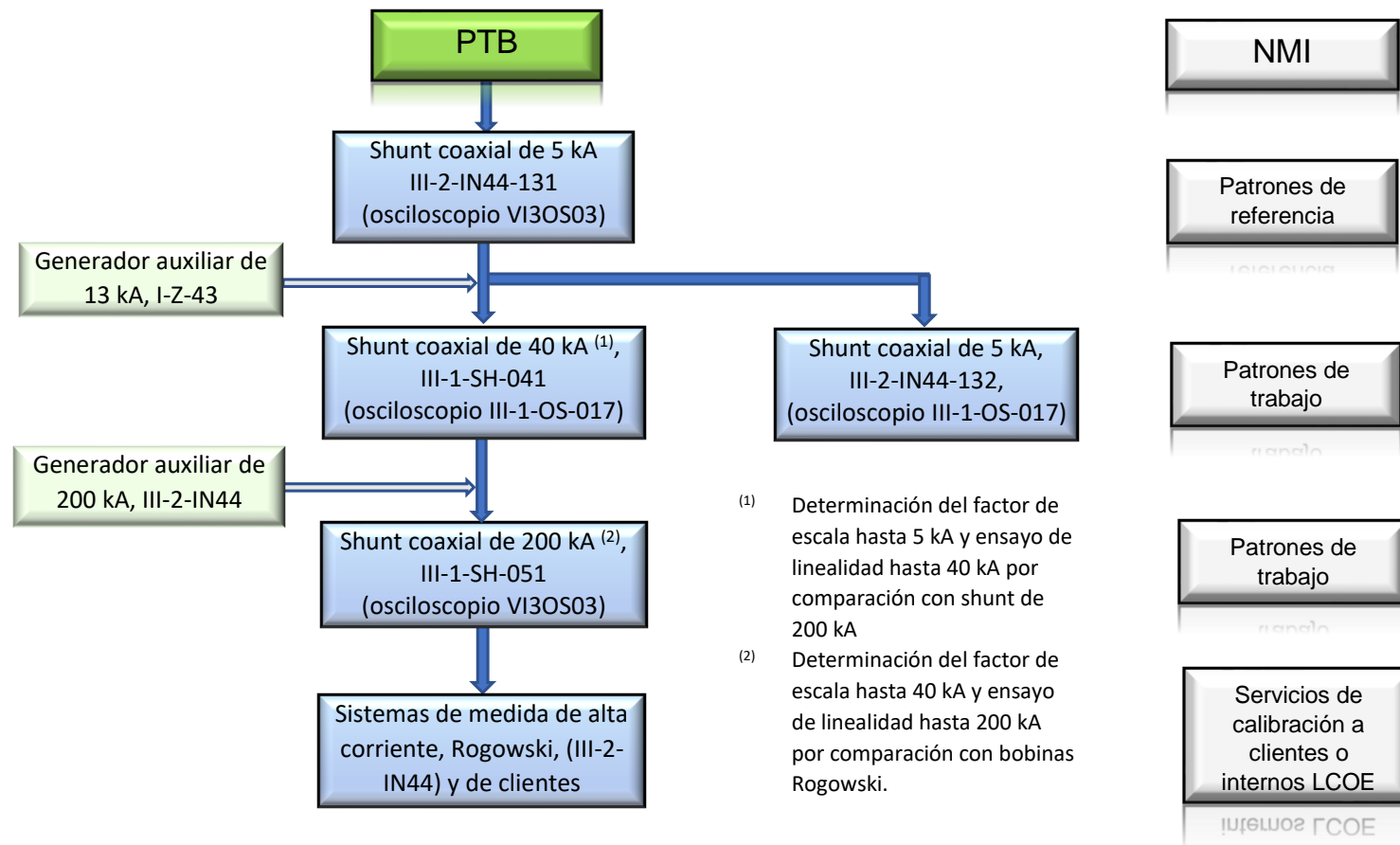
MEDIDAS DE ALTA CORRIENTE IMPULSIONALES O DE CHOQUE

El generador es el elemento principal para poder realizar este tipo de calibraciones.

Generador, III-2-IN 44 del LCOE.



TRAZABILIDAD DE LAS MEDIDAS DE ALTA CORRIENTE IMPULSIONAL



Los requisitos técnicos más importantes a respetar en las medidas descritos en la ponencia.

CAPACIDADES DE MEDIDA Y CALIBRACIÓN

- ❑ Capacidad de alcanzar alta corriente impulsional hasta 200 kA.
- ❑ Capacidad de calibraciones “in situ” hasta 12 kA en 50/60 Hz.

El RD 207/2022 amplía la designación del LCOE como depositario de los patrones nacionales de alta corriente.

Se declara al Laboratorio Central Oficial de Electrotecnia, de la Fundación para el Fomento de la Innovación Industrial, como laboratorio asociado al Centro Español de Metrología en el campo metrológico de la alta tensión y alta corriente eléctrica, así como depositario de los patrones nacionales de la unidad derivada de tensión para valores superiores a 1.000 V y de la unidad de corriente eléctrica para valores superiores a 1.000 A en corriente alterna de baja frecuencia e impulsional

Tipo de corriente	Calibraciones en:	Rango de intensidad y forma de onda	Incertidumbre, 95 % de probabilidad (1)
Frecuencia industrial, 50Hz, 60 Hz	Laboratorio permanente	Hasta 8000 A Onda senoidal	17.10 ⁻⁶ (en relación) 0,1 min (en ángulo)
	“in situ”	Hasta 12000 A Onda senoidal	1,0.10 ⁻⁴ (en relación) 0,4 min (en ángulo)
Corrientes impulsionales o de choque	Laboratorio permanente	1 kA ≤ I ≤ 5 kA 8/20 y 10/350	0,6 % (en intensidad) 2,3 % (para T ₁) 1,9 % (para T ₂)
		5 kA < I ≤ 40 kA 8/20 y 10/350	0,72 % (en intensidad) 2,8 % (para T ₁) 2,0 % (para T ₂)
		40 kA < I ≤ 200 kA 8/20 y 10/350	1,1 % (valor de cresta) 3,3 % (para T ₁) 2,2% (para T ₂)

(1) La incertidumbre puede variar según los rangos de medida, se incluye una incertidumbre representativa a título informativo.