



ENSAYOS Y MEDICIONES ELÉCTRICAS

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS

Carlos Rosi
crosi@fii.org

NOTA . El Centro Nacional de Metrología no es responsable del contenido de este documento. Para cualquier duda o aclaración favor de dirigirse con el autor.



Encuentro Nacional de
Metrología Eléctrica 2009
18-20 de noviembre

↪ Electromagnetismo
↪ Temperatura y
Propiedades Termofísicas
↪ Tiempo y Frecuencia



CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA, CENAM,
DERECHOS RESERVADOS 2009

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS

Sistema Eléctrico Nacional

Subestaciones de distribución eléctrica

Calidad del servicio eléctrico según ley

Verificación de funcionamiento: inyectores altas corrientes AC

5000 A @ 60 Hz

Error Máximo Permitido: 3% lectura

¿Cómo calibrar estos inyectores?



Encuentro Nacional de
Metrología Eléctrica 2009
18-20 de noviembre

→ Electromagnetismo
→ Temperatura y
Propiedades Termofísicas
→ Tiempo y Frecuencia



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS

Calibración de altas corrientes AC

Shunt (derivadores)



Ley de Ohm



Diseños no inductivos

Bobinas de inducción



Inducción de Faraday



Nucleos magneticos:
saturación



Nucleos de aire:
Rogowski

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS

Bobinas Rogowski

Nucleo de aire

Linealidad, precisión, sin saturación, poco desfase

Bobinado helicoidal sobre nucleo toroidal, extremos en un mismo lado

Abiertas, flexibles, cómoda colocación

Poca inductancia

Mayor ancho de banda

Espiras de sección transversal idéntica y distribuidas uniformemente

Inmunidad interferencia EM

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS

Ley de Ampere

$$\oint H \cdot \cos(\alpha) dl = I$$

- dl es un elemento de longitud del circuito

- H es el campo

- α ángulo entre la dirección del campo y el dl

- n vueltas por unidad de longitud y A , área de la sección

$$\Phi = \mu_0 \cdot n \cdot A \int H \cdot \cos(\alpha) dl = \mu_0 \cdot n \cdot A \cdot I$$

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS

$$V = - \frac{d\Phi}{dt} = - \mu_0 \cdot n \cdot A \frac{dI}{dt} = - M \frac{dI}{dt}$$

M la inductancia mutua entre el cable conductor y la bobina

Salida del sistema es proporcional a la derivada con respecto al tiempo de la misma

Un circuito integrador resuelve el problema

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS

POSIBLES INTEGRADORES: Activos, Pasivos

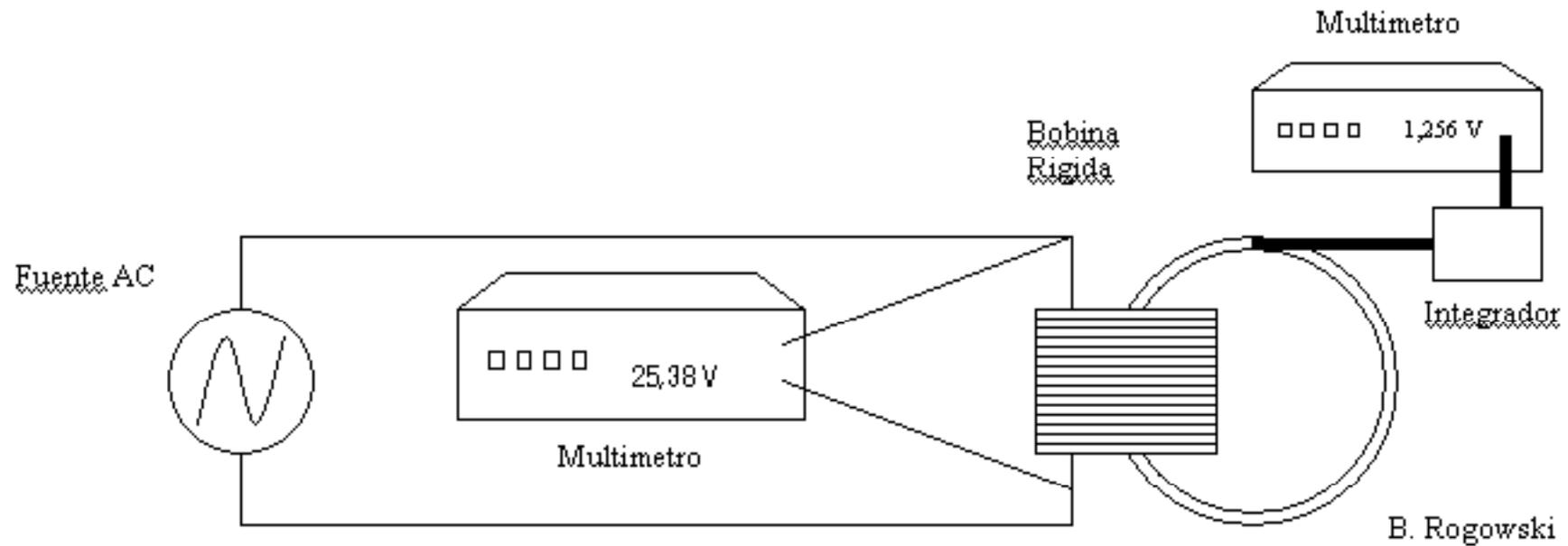
Se uso un integrador activo, el cual es ajustado (por el fabricante) para ofrecer una sensibilidad apropiada en el rango a utilizar

Incertidumbre total del sistema Bobina Rogowski + integrador es del 1% del valor nominal (según fabricante)

Es necesario calibrar, al menos, con 0,33% el sistema

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS

ESQUEMA DEL MONTAJE EXPERIMENTAL



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS

Se mide voltaje sobre la bobina rigida de 587 espiras con un multmetro calibrado

La bobina rigida fue caracterizada con un puente LCR a 2 V @ 60 Hz

$$L = (34,362 \pm 0,011) \text{ mH}$$

$$R = (6,517 \ 00 \pm 0,000 \ 70) \ \Omega$$

Se calcula la corriente que circula por la misma mediante la Ley de Ohm (en su versión compleja)

$$V = I \cdot Z$$

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS

La bobina rígida se caracterizó durante un lapso de 2 horas con el puente LCR antes de hacer la calibración.

El proceso de calibración constó de tres series de diez medidas cada una (a intervalos de una hora) para comprobar la repetibilidad del montaje.

Luego se varió el valor de la corriente inyectada a la bobina rígida aumentando el voltaje de la fuente, haciéndola pasar por las 587 vueltas y simulando, para la bobina Rogowski, corrientes de hasta 5 000 A.

Se calcularon los valores promedios, desviaciones estándar para cada serie de medidas y con esos datos se realizó la calibración

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS

MÉTODO ALTERNATIVO

Calibrador Fluke 5500 + Bobina semitoroidal de 50 espiras

Al colocar la bobina Rogowski rodeando 2 veces la bobina auxiliar se logra el efecto de duplicar el campo magnético sentido por la bobina.

Esto trae como consecuencia que mida un campo equivalente al doble del generado por la corriente que circula por la bobina auxiliar, con una incertidumbre conocida.

Maxima corriente que se puede simular para la bobina Rogowski de esta manera: 1000 A

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS

$I_{\text{bobina Rogowski}}$ [A]	$I_{\text{patrón}}$ [A]	Error porcentual [% lectura]
1 010,02	1 008,82	+ 0,118
2 000,69	2 003,71	- 0,150
3 013,01	3 016,92	- 0,128
3 944,26	3 945,42	- 0,029
4 731,89	4 732,53	- 0,014

Tabla 1: Valores del patrón de corriente, medición de la bobina Rogowski y error porcentual.

Método alternativo

(1 000,0 \pm 2,5) A, (incertidumbre 0,25% lectura)

Se obtuvo una lectura de 999,46 A con la bobina Rogowski, que corresponde a una diferencia del 0,054%.

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS

ALCANCE Y APROXIMACIONES

- Se quiso realizar una aproximación a primer orden del problema
- No se cuantificó la influencia de la interacción bobina rígida/Rogowski
- Autoinductancia estimada (según fabricante Rogowsky): 200 nH
- No se cuantificó la inhomogeneidad del campo magnético (posición)
- No se cuantificaron los errores debidos a la posición de la Rogowski

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS

CONCLUSIONES

Cálculo de incertidumbre expandida = 0,11% valor nominal

Relación 1/3 bobina Rogowski => 0,33% valor nominal

Posibilidad de calibrar inyector de alta corriente al 1%

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS

CONCLUSIONES

- El núcleo de aire no presenta histéresis, no satura y es lineal. Inductancia mutua no depende ni de la corriente ni de la frecuencia de la señal a medir.
- Ancho de banda elevado. La única limitación en frecuencia viene determinada por la frecuencia de resonancia de la bobina.
- La misma bobina sirve para medir un gran rango de corrientes
- Dispone de un bajo consumo de potencia.

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS

CONCLUSIONES

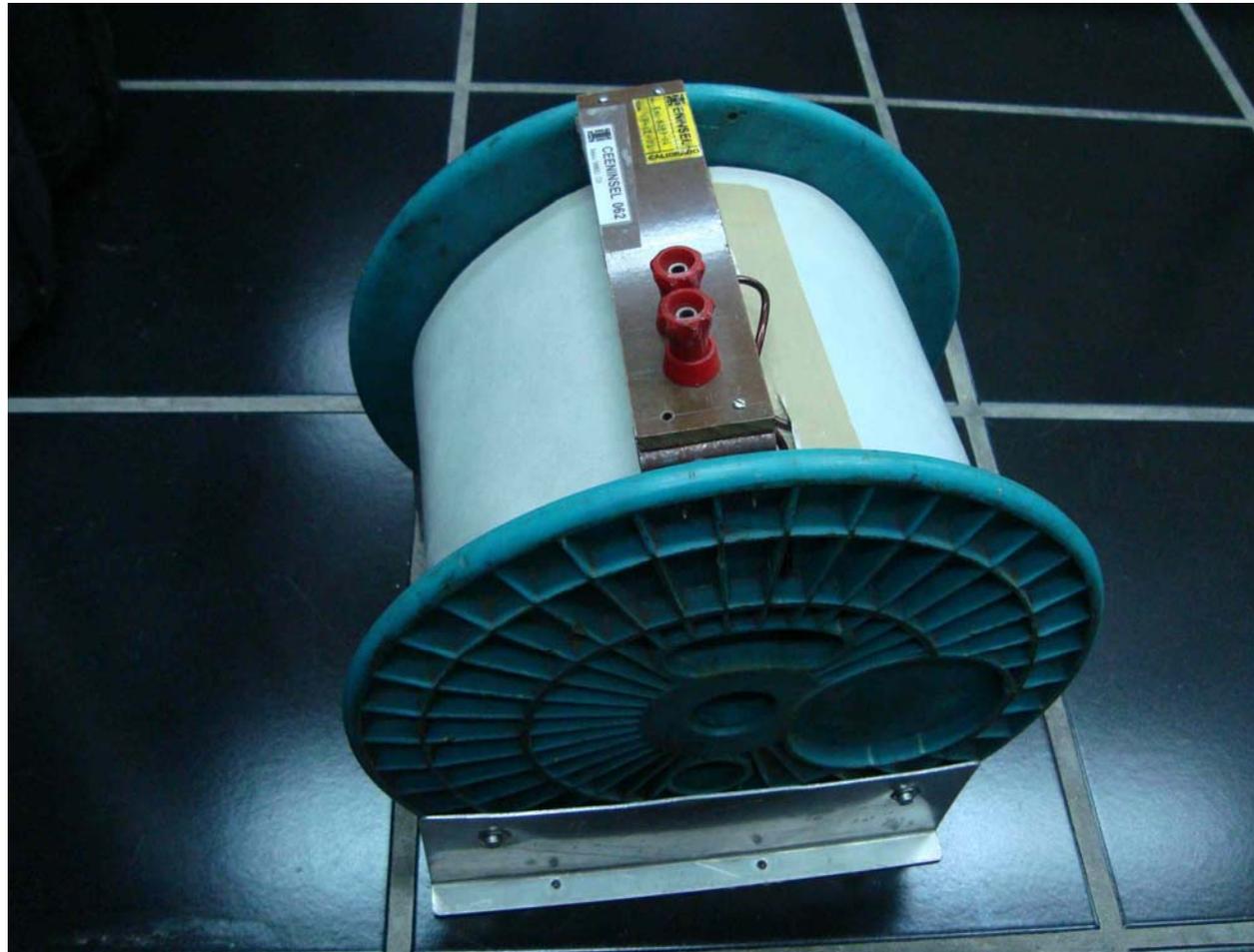
- La variación de la salida con la temperatura es baja.
- Evita el uso de “Shunts” de alta corriente que son engorrosos de usar tanto por sus dimensiones físicas como por el calentamiento de los mismos.
- Hace posible el realizar calibraciones especiales en el país, con el consecuente ahorro de divisas y tiempo para las empresas nacionales.

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS

POSIBILIDADES FUTURAS

- Caracterizar de manera apropiada la interacción rigida/Rogowski, lo cual permitiría disminuir la mayor fuente de incertidumbre
- Fabricar una bobina toroidal que disminuya las variaciones del campo magnético con respecto a la posición
- Mejorar la estabilidad de la fuente de corriente

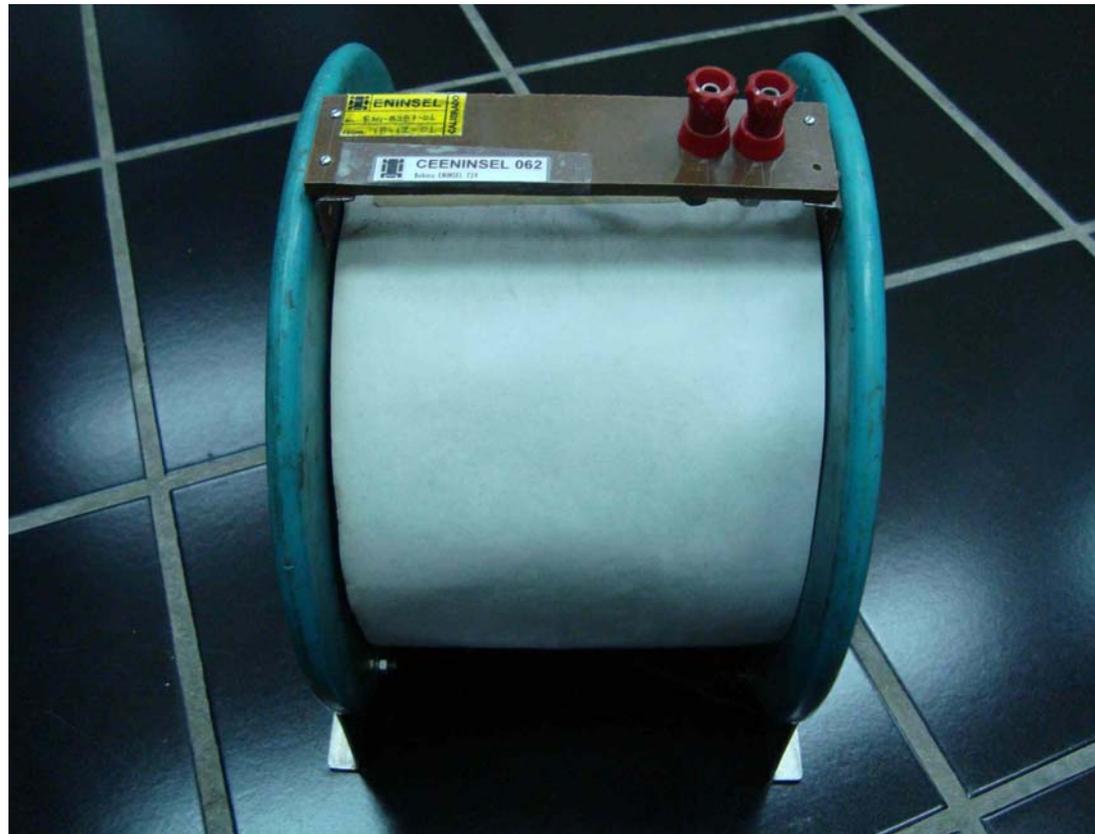
DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS

AGRADECIMIENTOS

ING. LUIS RODRIGUEZ QUIROZ

ING. GILBERTO GRATEROL



Encuentro Nacional de
Metrología Eléctrica 2009
18-20 de noviembre

↪ Electromagnetismo
↪ Temperatura y
Propiedades Termofísicas
↪ Tiempo y Frecuencia



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PATRÓN DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS INYECTORES DE CORRIENTES ALTERNAS ALTAS

MUCHAS GRACIAS
POR SU ATENCIÓN



Encuentro Nacional de
Metrología Eléctrica 2009
18-20 de noviembre

↪ Electromagnetismo
↪ Temperatura y
Propiedades Termofísicas
↪ Tiempo y Frecuencia

