



## Actualización del sistema de calibración de transformadores de medida de corriente del CENAMEP AIP

### An updated version of the calibration system for instrument current transformers at CENAMEP AIP

**Julio González <sup>1</sup>, Carlos Espinosa <sup>1</sup>, Cándido Montero <sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Centro Nacional de Metrología de Panamá, CENAMEP AIP

jgonzalez@cenamep.org.pa

**Resumen:** Se presenta una actualización del sistema de medida de calibración de transformadores de medida de corriente, basada en la utilización de dos multímetros digitales, en configuración maestro – esclavo, empleando el algoritmo de Swerlein.

**Palabras-clave:** transformadores de corriente, algoritmo de Swerlein, fase, cuadratura.

**Abstract:** An updated version of the system for calibration of measurement transformers is presented. The method is based in a configuration master-slave of two digital multimeters using the Swerlein algorithm.

**Keywords:** Current transformer, Swerlein algorithm, in-phase, quadrature.

## 1. INTRODUCCIÓN

El medir la generación, pérdida y consumo de energía eléctrica de manera precisa y confiable, resulta el foco de atención de toda empresa que interviene en cualquiera de las etapas del mercado eléctrico de un país, generación, transmisión y distribución. Al referirnos al tema de medición de energía, muchos ven como el único actor de esta película al medidor o registrador de energía, olvidándose de otros actores que intervienen y afectan significativamente las mediciones, los transformadores de medida, especialmente los de medida de corriente.

Los transformadores de medida de corriente al igual que los medidores de energía, deben ser sometidos periódicamente a procesos de verificación y calibración metrológica de esta forma se previene mediciones erradas de energía eléctrica.

En Panamá, las empresas distribuidoras de energía son de capital privado, las mismas han invertido en mejoras de infraestructura y equipamiento de sus laboratorios de metrología, adquiriendo patrones cada vez más precisos y de clase de exactitud similares a los transformadores patrones que posee el CENAMEP AIP, hecho que motivó la necesidad de evaluar y optimizar nuestro sistema de medida a manera de poder brindarle trazabilidad a los transformadores patrones adquiridos por estas empresas, y ejecutar el servicio de calibración en menos tiempo.

## 2. SISTEMA DE MEDIDA ACTUAL

El sistema de medida utilizado actualmente por el CENAMEP AIP, en la calibración de transformadores de medida de corriente, permite ensayar transformadores de clase de exactitud

600 ppm en fase y 900  $\mu$ rad en cuadratura. El sistema lo conforman los siguientes equipos:

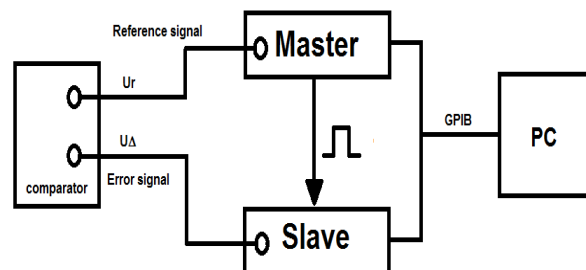
**TABLA 1.** Equipos del sistema de medida de CENAMEP AIP.

Equipos	Fabricante	Modelo
Transformador patrón de corriente	CONIMED	TI1205
Transformador patrón de corriente	CONIMED	TI3005
Comparador de transformadores	CONIMED	CTI-CT3
Tarjeta de adquisición de datos	National Instruments	NI-DAQ
Sistema de alimentación	CONIMED	SA10

## 3. SISTEMA DE MEDIDA ACTUALIZADO

Nuestro sistema de medida actualizado consiste en utilizar muestreo digital asíncrono para el análisis de las señales de tensión referencia y tensión diferencia proveniente del comparador de transformadores CTI-CT3; mediante la utilización de dos multímetros digitales 3458 A, de alta exactitud, en configuración maestro-esclavo (figura 1).

**FIGURA 1.** Sistema de media con multímetros 3458A incorporados.



### 3.1. Modelo de medición

El modulo de error complejo, el error en fase y el error en cuadratura del transformador bajo ensayo se definen como:

$$F = M \times \frac{U_{\Delta}}{U_r} \quad (1)$$

$$F_{\text{inPhase}} = M \times \frac{U_{\Delta}}{U_r} \times \text{COS}(\theta) \quad (2)$$

$$F_{\text{Cuadrature}} = M \times \frac{U_{\Delta}}{U_r} \times \text{SIN}(\theta) \quad (3)$$

Donde:

M, es una constante del comparador CTI-CT3.

$U_r$ , es la señal de referencia; proporcional a la corriente secundaria del transformador patrón.

$U_{\Delta}$ , es la señal de diferencia; proporcional a la diferencia entre las corrientes de los secundarios del transformador bajo ensayo y el transformador patrón.

$\theta$ , es el desfase entre la señal de diferencia respecto a la señal de referencia.

Las tensiones  $U_r$  y  $U_{\Delta}$  son medidas por dos multímetros Agilent 3458A, en configuración maestro-esclavo utilizando la versión extendida del algoritmo de SWERLEIN [2].

El ángulo  $\theta$  es calculado por el algoritmo.

## 4. SIMULACION DE ERRORES

Para simular errores al comparador de corriente, nos basamos en un método desarrollado por El fabricante [3].

El método consiste en aplicar mediante un calibrador multifunción una corriente de referencia  $I_{\text{REF}}$ ; la misma hará el papel de la corriente que circula por el secundario del

8<sup>th</sup> Brazilian Congress on Metrology, Bento Gonçalves/RS, 2015

transformador patrón. Y con la salida de tensión, a través de un resistor,  $R_s$ , se aplica la corriente de diferencia  $I_d$ ; la cual simula la diferencia entre la corriente del secundario del transformador bajo ensayo respecto a la corriente del secundario del transformador patrón.

Si cambiamos el ángulo  $\theta$ , entre la tensión y corriente del calibrador, podemos simular errores en todos los cuadrantes (positivos y negativos) [3].

$$I_{\text{REF}} = I_{\text{cal}} \quad (4)$$

$$I_d = \frac{V_{\text{cal}}}{R_s} \quad (5)$$

Donde:

$I_{\text{cal}}$ , es la corriente aplicada con el calibrador.

$V_{\text{cal}}$ , es la tensión aplicada con el calibrador.

Para la simulación, el modulo de error complejo, el error en fase y el error en cuadratura se definen como:

$$F = \frac{I_d}{I_{\text{REF}}} \quad (6)$$

$$F_{\text{inPhase}} = \frac{I_d}{I_{\text{REF}}} \times \text{COS}(\theta) \quad (7)$$

$$F_{\text{Cuadrature}} = \frac{I_d}{I_{\text{REF}}} \times \text{SIN}(\theta) \quad (8)$$

Al reescribir las ecuaciones 6, 7 y 8 en términos de las ecuaciones 4 y 5 obtenemos:

$$F = \frac{V_{\text{cal}}}{R_s \times I_{\text{cal}}} \quad (9)$$

$$F_{\text{inPhase}} = \frac{V_{\text{cal}}}{R_s \times I_{\text{cal}}} \times \text{COS}(\theta) \quad (10)$$

$$F_{\text{Cuadratura}} = \frac{V_{\text{CAL}}}{R_s \times I_{\text{cal}}} \times \text{SIN}(\theta) \quad (11)$$

## 5. VALIDACIÓN

Para validar la actualización del sistema de medida, se efectuó un ejercicio de comparación entre una serie de valores de errores teóricos tanto en fase como en cuadratura, simulados, que fueron aplicados al comparador CTI-CT3, y los resultados obtenidos mediante la utilización del software que controla los multímetros digitales.

Para simular los errores en fase y cuadratura, dados en las tablas 3 y 4, utilizamos las ecuaciones 10 y 11, respectivamente.

Los valores de corriente, tensión, resistencia, y ángulo utilizados para simular los errores mostrados en las tablas 3 y 4, se detallan a continuación:

**TABLA 2.** Valores utilizados para simular errores al 120 %.

		Especificaciones
I <sub>cal</sub> (A)	6	0.12 %
V <sub>cal</sub> (V)	45	0.06 %
R <sub>s</sub> (kΩ)	60	0.01 %
θ (°)	0°, 45°, ..., 315°	0.23°

**TABLA 3.** Valores utilizados para simular errores al 5 %.

		Especificaciones
I <sub>cal</sub> (A)	0.25	0.26 %
V <sub>cal</sub> (V)	4	0.06 %
R <sub>s</sub> (kΩ)	80	0.01 %
θ (°)	0°, 45°, ..., 315°	0.23°

## 6. RESULTADOS

Los resultados de la validación tanto en fase como en cuadratura se presentan a continuación:

**TABLA 4.** Errores obtenidos en fase

I/In (%)	Ángulo (°)	E. Teórico (ppm)	E. Medido (ppm)	Diferencia (ppm)
120	0	125	133	8
	45	88	86	-2
	90	0	-9	-9
	135	-88	-96	-8
	180	-125	-124	1
	225	-88	-78	10
	270	0	17	17
	315	88	104	16
5	0	200	206	6
	45	141	120	-21
	90	0	-35	-35
	135	-141	-165	-24
	180	-200	-198	2
	225	-141	-111	30
	270	0	43	43
	315	141	175	34

**TABLA 5.** Errores obtenidos en cuadratura

I/In (%)	Ángulo (°)	E. Teórico (μrad)	E. Medido (μrad)	Diferencia (μrad)
120	0	0	-1	-1
	45	88	86	-2
	90	125	115	-10
	135	88	69	-19
	180	0	-26	-26
	225	-88	-113	-25
	270	-125	-142	-17
	315	-88	-95	-7
5	0	0	25	25
	45	141	156	15
	90	200	189	-11
	135	141	102	-39
	180	0	-51	-51
	225	-141	-182	-41
	270	-200	-216	-16
	315	-141	-125	16

Durante la validación se desarrollaron mediciones al 120, 100, 20 y 5 % de la corriente nominal (5 A).

Los resultados del 120 al 20 % de la corriente nominal se mantienen dentro de 20 ppm en fase y 30  $\mu$ rad en cuadratura.

## 7. CONCLUSIONES

Al incorporar al sistema de medida el muestreo digital mediante multímetros digitales junto con la aplicación del algoritmo de Swerlein, se observa un buen desempeño del comparador CTI-CT3, contra sus especificaciones, lo que se valida en las Tablas 1 y 2, donde la comparación entre errores teóricos y errores obtenidos, resultan por el orden de las 50 ppm en fase y 60  $\mu$ rad en cuadratura; Estas diferencias podrían disminuir con la utilización de amplificadores del tipo lock-in.

Con los resultados obtenidos podemos calibrar transformadores con exactitud hasta 150 ppm en fase y 180  $\mu$ rad en cuadratura, manteniendo una relación de 3 a 1.

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos al Ing. Ricardo García por el apoyo recibido en cuanto al suministro de información técnica.

## 8. REFERENCES

- [1] Swerlein R., "A 10 ppm accurate AC measurement algorithm", *Hewlett Packard Co.1991*.
- [2] Kyriazis G., "Extension of Swerlein's for AC voltage measurement in the frequency domain", *CPEM Digest, Ottawa, Canada, 2002*.
- [3] García R. y Oviedo V., "Calibración de Instrumentos para el Ensayo de Exactitud de Transformadores de Medida", *X Semetro, Buenos Aires, Argentina 2013*.
- [4] Zinn E., "Reglamento de Prueba del PTB Transformadores de Medición", *PTB 1997*.