

CONTROL DE CALIDAD EN CALIBRACIONES REALIZADAS EN EL LABORATORIO DE MEDIDA DE ENERGÍA DE EPM

Quality control in calibrations realized in the laboratory of measure of energy of EPM

RESUMEN

El laboratorio de Medidores de energía, transformadores de Empresas Públicas de Medellín - EPM, es un laboratorio que ofrece servicios de calibración de contadores de Energía y Transformadores de Corriente, **ACREDITADO** ante la Superintendencia de Industria y Comercio - SIC mediante Resolución 3670 del 20 de febrero de 2003, en cumplimiento con los requisitos de la norma técnica NTC-ISO/IEC 17025.

Este artículo describe el procedimiento empleado para realizar el estudio R&R en el Laboratorio de Medidores de energía y transformadores de Empresas Públicas de Medellín, a fin de dar cumplimiento con el requisito 5.9 de la norma NTC-ISO/IEC 17025.

PALABRAS CLAVES: Norma técnica NTC-ISO/IEC 17025, Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R), Metrología, Calibración, Incertidumbre, Error, Clase de Exactitud

ABSTRACT

The laboratory of Meters of energy, transformers of Empresas Públicas de Medellín - EPM, is a laboratory that offers services of calibration of Energy meter and Transformers of Current, ACCREDITED by Superintendencia de Industria y Comercio - SIC by means of Resolution 3670 of 2003-02-20, in fulfillment with the requirements of the technical norm NTC-ISO/IEC 17025.

This article describes the procedure used to realize the study R&R in the Laboratorio de Medidores de energía y transformadores de Empresas Públicas de Medellín, in order fulfillment gives with the requirement 5.9 of the norm NTC-ISO/IEC 17025.

KEYWORDS: *Technical norm NTC-ISO/IEC 17025, Repeatability and Reproducibility (R&R), Metrology, Calibration, Uncertainty, Mistake, Class of Accuracy.*

1. INTRODUCCIÓN

El laboratorio de Medidores de energía, transformadores de Empresas Públicas de Medellín - EPM, es un laboratorio que ofrece servicios de calibración de contadores de Energía y Transformadores de Corriente, **ACREDITADO** ante la Superintendencia de Industria y Comercio - SIC mediante Resolución 3670 del 20 de febrero de 2003, en cumplimiento con los requisitos de la norma técnica NTC-ISO/IEC 17025.

Uno de los requisitos de la norma técnica NTC-ISO/IEC 17025 es el numeral “**5.9 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LOS RESULTADOS DE ENSAYO Y DE CALIBRACIÓN**”, el cual establece lo siguiente: “**5.9.1** El laboratorio **DEBE** tener procedimientos de control de la calidad para realizar el seguimiento de la validez de los ensayos y las calibraciones llevadas a

JOHN JAIRO TAMAYO ARENAS

Ingeniero Electricista
Profesional Técnico distribución
Área Ingeniería Distribución,
Equipos de Medida Energía de
Empresas Públicas de Medellín
John.Tamayo@epm.com.co

LUIS G. MEZA CONTRERAS

Magister en Instrumentación Física
Docente Departamento de física
Director Grupo de Investigación de
METROLOGÍA
Universidad Tecnológica de
Pereira
lgmeza@utp.edu.co

NORMA PATRICIA DURÁN OSORIO

Candidato a Magister en
Investigación de Operaciones y
Estadística – UTP
Docente Escuela de Tecnología
Química – UTP
npatricia@utp.edu.co

cabo”. De acuerdo con lo anterior, las diferentes herramientas que emplean los laboratorios acreditados a fin de dar cumplimiento con este requisito son las siguientes: Intercomparación de laboratorios, Cartas de Control, Pruebas de Repetibilidad y Reproducibilidad, entre otras.

Este artículo describe el procedimiento empleado para realizar el estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad en el Laboratorio de Medidores de energía y transformadores de Empresas Públicas de Medellín, a fin de dar cumplimiento con el requisito 5.9 de la norma NTC-ISO/IEC 17025. Adicionalmente se muestran ejemplos para facilitar la implementación del método mencionado.

2. VOCABULARIO

Las definiciones mencionadas en este artículo son tomadas de la GTC-ISO/IEC 99, Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales, generales y términos asociados (VIM) [3], estas son:

2.1 Patrón de medida. Realización de la definición de una magnitud dada, con un valor determinado y una incertidumbre de medida asociada, tomada como referencia.

EJEMPLO 1 Patrón de masa de 1 kg, con una incertidumbre típica asociada de 3 μg

EJEMPLO 2 Resistencia patrón de 100 Ω , con una incertidumbre típica asociada de 1 $\mu\Omega$.

2.2 Exactitud de medida. Proximidad entre un valor medido y un valor verdadero de un mensurando.

2.3 Calibración. Operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación.

2.4 Verificación. Aportación de evidencia objetiva de que un elemento satisface los requisitos especificados.

2.5 Instrumento de medida. Dispositivo utilizado para realizar mediciones, solo o asociado a uno o varios dispositivos suplementarios.

2.6 Precisión de medida. Proximidad entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones especificadas.

2.7 Repetibilidad de medida. Precisión de medida bajo un conjunto de condiciones de Repetibilidad.

2.8 Condición de Repetibilidad de una medición. Condición de medición, dentro de un conjunto de condiciones que incluye el mismo procedimiento de medida, los mismos operadores, el mismo sistema de medida, las mismas condiciones de operación y el mismo lugar, así como mediciones repetidas del mismo objeto o de un objeto similar en un periodo corto de tiempo.

2.9 Reproducibilidad de medida. Precisión de medida bajo un conjunto de condiciones de reproducibilidad.

2.10 Condición de reproducibilidad de una medición. Condición de medición, dentro de un conjunto de condiciones que incluye diferentes lugares, operadores, sistemas de medida y mediciones repetidas de los mismos objetos u objetos similares.

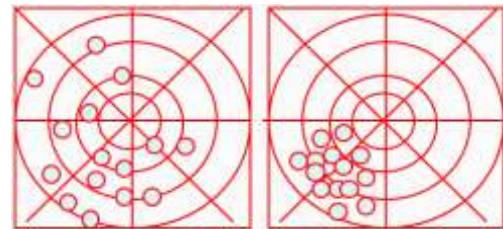
3. ESTUDIO LARGO DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD [4], [5]

Los componentes de la precisión son la Repetibilidad y Reproducibilidad. La Repetibilidad de un dispositivo de medida tiene que ver con la precisión o variación de las mediciones cuando se obtienen varias medidas del mismo objeto en iguales condiciones (mismo operador); la Reproducibilidad es la precisión o variación de las medidas del mismo objeto pero en condiciones diferentes (diferentes operadores).

Los análisis de R&R, evalúan experimentalmente que parte de la variabilidad total observada en las mediciones es atribuible al error de medición; además, permite cuantificar si este error es mayor o menor en comparación con la variabilidad del producto y con las exactitudes de la característica de calidad que se mide.

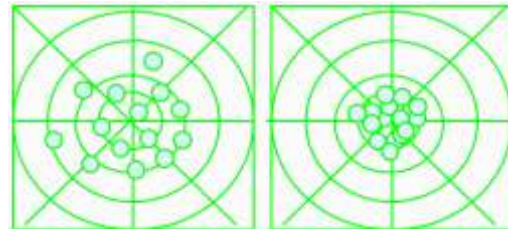
Las fuentes de variabilidad que se pueden evaluar en un estudio largo de R&R corresponden a la variabilidad del producto, del instrumento y de los operadores.

A fin de entender los conceptos de precisión y exactitud, se muestra la figura 1. Esta figura representa el juego de tiro al blanco, en el que el centro del tablero es el blanco o valor nominal de una pieza y los puntos (ó disparos) son los resultados del proceso de medición.



a. Impreciso e inexacto

b. Preciso e inexacto




c. Impreciso y exacto

d. Preciso y exacto

Figura 1. Precisión y Exactitud jugando tiro al blanco.

En el caso a, tenemos un proceso de medición impreciso e inexacto, pues los datos están dispersos y tienen un sesgo con respecto al valor nominal. En b las medidas poseen buena precisión pero su exactitud es mala. En el tablero c, se observa una exactitud adecuada ya que el promedio de las medidas da en el blanco pero es impreciso por la dispersión que se observa en estos. Finalmente en el ítem d, se tiene un proceso preciso y exacto, pues este representa un valor verdadero con poca variación.

4. Procedimiento para pruebas de Repetibilidad y Reproducibilidad para Equipos de medida de energía [2], [4], [5].

	Laboratorio de Calibración de Equipos de medida de Energía y Gas	
	Procedimiento para pruebas de Repetibilidad y Reproducibilidad para Equipos de medida de energía	
	DIS-XX-XX-XX-XXX	Página 1 de 4

4.1 OBJETO

Especificar el procedimiento que se sigue en el Laboratorio de Equipos de Medida de EPM para realizar las pruebas de Repetibilidad y Reproducibilidad en los Técnicos de Calibración y cada uno de los Equipos que intervienen en el proceso de calibración de medidores de Energía.

4.2 ALCANCE

Este procedimiento se aplica para los Técnicos de Calibración del Laboratorio de Calibración de Equipos de Medida de Energía.

4.3 RESPONSABILIDAD

Estará a cargo del Coordinador del laboratorio o la persona que él designe.

4.4 METODOLOGÍA [2], [4], [5]

El método empleado será el de Promedio y Rango.

Se realiza el cronograma de las pruebas de tal forma que cada uno de los técnicos Calibradores realice pruebas de RyR en el equipo designado para tal fin por parte del Coordinador del Laboratorio.


Las pruebas de RyR se harán anualmente, y para estas se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- * La recomendación del fabricante del instrumento utilizado.
- * Condiciones ambientales (temperatura, humedad, etc)
- * Exactitud de medición del instrumento utilizado.
- * Error máximo tolerado.
- * Datos publicados acerca de un grupo de instrumentos de medición similares.
- * Experiencia en mediciones

Los equipos con los cuales dispone el Laboratorio y que pueden intervenir en las pruebas RyR son los siguientes:

Mesa de Calibración de medidores de Energia Zera 6

Mesa de Calibración de medidores de Energia Zera 7

	Laboratorio de Calibración de Equipos de medida de Energía y Gas	
	Procedimiento para pruebas de Repetibilidad y Reproducibilidad para Equipos de medida de energía	
	DIS-XX-XX-XX-XXX	Página 2 de 4

Mesa de Calibración de medidores de Energía Landis 13
 Mesa de Calibración de medidores de Energía Itron 36
 Patrones portátiles para la Calibración de medidores de Energía PRS 1.3

Para las pruebas de RyR el Laboratorio cuenta con el siguiente equipo de medida:

- Medidor Electrónico de Energia Eléctrica Marca xxxxxx, Tipo ACE 5000, Número de Serie xxxxxx, 5 (120) A, Clase 0.5

Cada Técnico Calibrador, deberá realizar las pruebas de RyR en el Equipo designado para esta actividad.

4.5 DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO

Se deben de garantizar y registrar las siguientes condiciones en el área donde se va a realizar las pruebas

- * Una temperatura ambiente de 21°C +/- 2° y una Humedad relativa de 60 % +/- 10%.

Para la realización de las pruebas RyR se deberán seguir los pasos descritos a continuación:


1. El Técnico Calibrador luego de recibir el medidor objeto de prueba, procederá a realizar una verificación física del medidor entregado por parte del Coordinador o el que este designe.
2. Revisar la tabla creada previamente para el medidor objeto de prueba. Se debe asegurar que esta tabla contenga las especificaciones descritas en la placa característica del medidor objeto de prueba.

DATOS DEL OBJETO BAJO PRUEBA	
MEDIDOR ELECTRONICO 3F - 4H	
No. SERIE	
MARCA	
TIPO	
CONST. [Imp/kWh]	1000
TENSIÓN [V]	3*110/191-3*254/440
CORRIENTE [A]	5 (120)
CLASE 0.5	FRECUENCIA 60 Hz

TABLA 1. Especificaciones del equipo bajo prueba.

3. Ajustar el Sistema de medición de tal forma que las perillas y selectores queden en condiciones de inicio de operación (valores de tensión y corriente en ceros).

4. Se procede al montaje y conexión del medidor objeto de prueba en el Equipo de medida asignado.

	Laboratorio de Calibración de Equipos de medida de Energía y Gas	
	Procedimiento para pruebas de Repetibilidad y Reproducibilidad para Equipos de medida de energía	
	DIS-XX-XX-XX-XXX	Página 3 de 6

5. Realizar precalentamiento al medidor objeto de prueba, con el fin de garantizar la estabilidad térmica, este precalentamiento se debe hacer por 30 minutos, con el medidor conectado solamente con tensión de prueba.

6. Realizar la compensación de fases para los sistemas Delta y Estrella del EPM en las siguientes condiciones:

- * Al inicio de las pruebas de RyR
- * Al cambiar el Factor de Potencia durante las pruebas.

7. Realizar y registrar los resultados de las pruebas de exactitud de en el registro Tabla de resultados, Ver Tabla 2.

TABLA DE RESULTADOS												
Punto de carga						Valores Individuales de Error [%]					Error [%]	
No	TENSIÓN (V)		CORRIENTE (A)		F.P.	1	2	3	4	5	Promedio	Desv. Est
	%	Fases	%	Fases							x	δ
1	100	RST	5	RST	1							
2	100	RST	100	RST	1							
3	100	RST	100	RST	0.5 IND							
4	100	RST	100	R	1							
5	100	RST	100	S	1							
6	100	RST	100	T	1							
7	100	RST	120	RST	1							
8	100	RST	2400	RST	1							

ELABORO: TEMPERATURA HUMEDAD

FECHA

TABLA DE RESULTADOS TRANSFORMADOR DE CORRIENTE																
Punto de carga			Error en magnitud [%]					Error en Angulo [min]					Error en magnitud [%]		Error en angulo [min]	
No	CORRIENTE		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Promedio	Desv. Est	Promedio	Desv. Est
	% I (A)	VA											x	δ	x	δ
1	120	2,5														
2	100	2,5														
3	20	2,5														
4	5	2,5														

ELABORO:

TEMPERATURA

HUMEDAD

FECHA


TABLA 2. Tablas de resultados.

8. Al finalizar la totalidad de los puntos de prueba, se debe desmontar el medidor objeto de prueba y entregar al encargado junto con los resultados registrados.

4.6 ACTIVIDADES A REALIZAR PARA EL CÁLCULO DE R&R

1. Calcular el rango por cada auto ensayado.

(1) $Rango = R = x_{max} - x_{min}$

	Laboratorio de Calibración de Equipos de medida de Energía y Gas	
	Procedimiento para pruebas de Repetibilidad y Reproducibilidad para Equipos de medida de energía	
	DIS-XX-XX-XX-XXX	Página 4 de 6

X_{max} : Valor máximo obtenido en el ensayo.

X_{min} : Valor mínimo obtenido en el ensayo.

2. Determinar el rango promedio por cada operador con la siguiente expresión

(2)
$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$$

n: total de rangos por operador.

2. Calcular el rango promedio

(3)
$$\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{R}_i$$

m: Número de operadores

\bar{R}_i : Rango promedio de cada operador

3. Determinar la Repetibilidad (Variación del equipo, VE).

(4)
$$VE = k1 * \bar{R}$$

$K1$: Constante estadística que depende del número de ensayos que realiza cada operario y que obedece a las propiedades de la distribución normal, la cual comprende el 99% del área bajo la curva [4]. Ver Tabla 1.

\bar{R}_i : Rango promedio de cada operador

4. Determinar la diferencia entre el promedio mayor y el promedio menor obtenido por los operadores.


(5)
$$X_{Dif} = X_{max} - X_{min}$$

X_{max} : Máximo promedio obtenido por los operadores.

X_{min} : Mínimo promedio obtenido por los operadores.

5. Determinar la Reproducibilidad (Variación del operador, VO).

(6)
$$VO = \sqrt{(X_{Dif} * k2)^2 - \frac{(VE)^2}{rt}}$$

	Laboratorio de Calibración de Equipos de medida de Energía y Gas	
	Procedimiento para pruebas de Repetibilidad y Reproducibilidad para Equipos de medida de energía	
	DIS-XX-XX-XX-XXX	Página 5 de 6

K2: Constante estadística que depende del número de operadores. Es igual a $5,15/d2^*$, donde $d2^*$ es una corrección a la constante $d2$ usada en las Cartas de Control para estimar la desviación estándar a partir de los rangos. Esta corrección es necesaria cuando se emplean pocas muestras (menos de 15) [4]. Ver Tabla 3.

r: Número de autos/motos ensayados.

t: Número de ensayos.

Número de Ensayos	2	3	4	5
k1	4,56	3,05	2,50	2,21
Número de Operadores	2	3	4	5
k2	3,65	2,70	2,30	2,08

Tabla 3. Valores de la constante $k2$.

6. Calcular la reproducibilidad, esta se determina con la siguiente expresión:

$$(7) \quad EM = \sqrt{(VE)^2 + (VO)^2}$$

7. Calcular el índice *precisión/exactitud*, %VE, %VO.

$$(8) \quad P/T = \frac{EM}{ES - EI} * 100\%$$

$$(9) \quad \%VE = \frac{VE}{ES - EI} * 100\%$$

$$(10) \quad \%VO = \frac{VO}{ES - EI} * 100\%$$

ES: Especificación superior.

EI: Especificación inferior.

ES - EI = Exactitud: Parámetro requerido para la característica de calidad que se está midiendo.

4.7 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Interpretar resultados de acuerdo con los siguientes criterios [4]:

$P/T \leq 10 \%$, Excelente proceso de medición.

$10\% < P/T \leq 20 \%$, Bueno.

$P/T \geq 30 \%$, Inaceptable y debe corregirse.

Una vez estudiada la información obtenida, se pueden determinar las causas que originaron la variación en el proceso de medida.

* Si VE > VO [2]:

El instrumento de medida requiere mantenimiento, se requiere rediseñar el equipo para que sea más rígido, el montaje o ubicación donde se efectúan las mediciones necesita mejoras y/o, existe una variabilidad excesiva entre los automóviles/motos ensayados.

* Si VO > VE [2]:

El operador necesita capacitarse en el empleo y lectura adecuada del instrumento de medida, la indicación del instrumento no es clara, no se han mantenido condiciones de reproducibilidad (ambientales, montaje, ruidos, etc.) y/o el instrumento de medición presenta deriva.

4.8. REGISTRO

Se genera un registro con los datos tomados a cada uno de los equipos de calibración.

5. PRUEBA DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD EN MEDIDORES DE ENERGÍA Y TRANSFORMADORES DE CORRIENTE [2], [4], [5].

En la figura 2, se observa la calibración de un transformador de corriente. A fin de implementar la técnica R&R, se emplearon tres operadores diferentes, cada operador realizó tres ensayos a un transformador de corriente.



Figura 2. Calibración de transformador.

Una vez llevadas a cabo las mediciones, se analizan los errores obtenidos por los operadores en los cinco puntos de carga calibrados en el transformador de corriente observado en la figura 2.

5.1 PRUEBA DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD EN LA CALIBRACION DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

	Laboratorio de Calibración de Equipos de medida de Energía y Gas	
	Procedimiento para pruebas de Repetibilidad y Reproducibilidad para Equipos de medida de energía	
	DIS-XX-XX-XX-XXX	Página 6 de 6

CALIBRACION DE TRANSFORMADORES (ERROR EN MAGNITUD) PUNTO DE CARGA % I(A) = 5, VA = 2,5												
No AUTO	Op. A			RANGO	Op. B			RANGO	Op. C			RANGO
	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	
1	-0,004	-0,003	-0,004	0,001	-0,003	-0,003	-0,002	0,001	-0,007	-0,007	-0,008	0,001
2												
	RANGO PROMEDIO A			0,001	RANGO PROMEDIO B			0,001	RANGO PROMEDIO C			0,001
	PROMEDIO A			-0,0037	PROMEDIO B			-0,0027	PROMEDIO C			-0,0073
PROMEDIO DE LOS RANGOS				0,0010	Xdiff = Mayor promedio - Menor promedio				0,0047			
VE	0,0031				VE			0,0031				
VO	0,0125				VO			0,0125				
R&R	0,0128				R&R			0,0128				
TOLERANCIA	0,20				TOLERANCIA			0,20				
%VE	1,53				%VE			1,53				
%VO	6,24				%VO			6,24				
%R&R	6,42				%R&R			6,42				

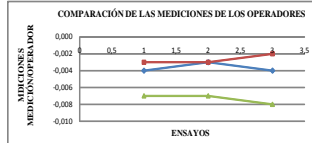


Tabla 4. Análisis R&R, Punto de carga % I(A) = 5, VA = 2,5.

CALIBRACION DE TRANSFORMADORES (ERROR EN MAGNITUD) PUNTO DE CARGA % I(A) = 20, VA = 2,5												
No TRAF0	Op. A			RANGO	Op. B			RANGO	Op. C			RANGO
	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	
1	0,068	0,068	0,068	0,000	0,068	0,068	0,068	0,000	0,068	0,067	0,068	0,001
2												
	RANGO PROMEDIO A			0,000	RANGO PROMEDIO B			0,000	RANGO PROMEDIO C			0,001
	PROMEDIO A			0,0680	PROMEDIO B			0,0680	PROMEDIO C			0,0670
PROMEDIO DE LOS RANGOS				0,0003	Xdiff = Mayor promedio - Menor promedio				0,0003			
VE	0,0010				VE			0,0010				
VO	0,0007				VO			0,0007				
R&R	0,0012				R&R			0,0012				
TOLERANCIA	0,2				TOLERANCIA			0,2				
%VE	0,51				%VE			0,51				
%VO	0,34				%VO			0,34				
%R&R	0,61				%R&R			0,61				



Tabla 5. Análisis R&R, Punto de carga % I(A) = 20, VA = 2,5.

CALIBRACION DE TRANSFORMADORES (ERROR EN MAGNITUD) PUNTO DE CARGA % I(A) = 100, VA = 2,5												
No TRAF0	Op. A			RANGO	Op. B			RANGO	Op. C			RANGO
	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	
1	0,097	0,097	0,097	0,000	0,097	0,097	0,097	0,000	0,104	0,096	0,097	0,008
2												
	RANGO PROMEDIO A			0,000	RANGO PROMEDIO B			0,000	RANGO PROMEDIO C			0,008
	PROMEDIO A			0,097	PROMEDIO B			0,097	PROMEDIO C			0,099
PROMEDIO DE LOS RANGOS				0,003	Xdiff = Mayor promedio - Menor promedio				0,002			
VE	0,01				VE			0,01				
VO	0,00				VO			0,00				
R&R	0,01				R&R			0,01				
TOLERANCIA	0,2				TOLERANCIA			0,2				
%VE	4,1				%VE			4,1				
%VO	1,3				%VO			1,3				
%R&R	1,3				%R&R			1,3				



Tabla 6. Análisis R&R, Punto de carga % I(A) = 100, VA = 2,5.

CALIBRACION DE TRANSFORMADORES (ERROR EN MAGNITUD) PUNTO DE CARGA % I(A) = 120, VA = 2,5												
No TRAF0	Op. A			RANGO	Op. B			RANGO	Op. C			RANGO
	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3		ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	
1	0,099	0,099	0,099	0,000	0,099	0,099	0,099	0,000	0,098	0,099	0,098	0,001
2												
	RANGO PROMEDIO A			0,00	RANGO PROMEDIO B			0,00	RANGO PROMEDIO C			0,001
	PROMEDIO A			0,099	PROMEDIO B			0,099	PROMEDIO C			0,098
PROMEDIO DE LOS RANGOS				0,0003	Xdiff = Mayor promedio - Menor promedio				0,0007			
VE	0,0010				VE			0,0010				
VO	0,0017				VO			0,0017				
R&R	0,0020				R&R			0,0020				
TOLERANCIA	0,20				TOLERANCIA			0,20				
%VE	0,51				%VE			0,51				
%VO	0,85				%VO			0,85				
%R&R	0,99				%R&R			0,99				



Tabla 7. Análisis R&R, Punto de carga % I(A) = 120, VA = 2,5.

Nota. Las unidades correspondientes a la calibración de transformadores de corriente están en %.

6. CONCLUSIONES

* La técnica de Repetibilidad y Reproducibilidad mediante el método de análisis por medias y rangos, es un método estadístico que permite determinar la variabilidad del sistema de medición en dos componentes, la variabilidad o error del instrumento de medición y la variabilidad o error debido a los operadores.

De acuerdo con los datos observados en las figuras 3, 4, 5 y 6, se puede concluir:

* Para las calibraciones realizadas a los cinco puntos de carga recomendados por la norma NTC 2205, versión 2004, observamos que la relación P/T es menor al 10%, lo cual podemos decir que este es un excelente proceso de medida.

Teniendo en cuenta los resultados de la relación P/T obtenidos, podemos asegurar que los equipos empleados en el proceso de calibración de transformadores de corriente son los apropiados para medir la característica de calidad deseada. De acuerdo con lo anterior, se puede asegurar que esto se debe a la implementación de un Plan de Aseguramiento Metrológico en el Laboratorio de Calibración de Contadores de Energía, en el cual incluye el Mantenimiento Preventivo realizado a los equipos de medida, Calibración de instrumentos. Adicionalmente, se resalta la capacitación del personal perteneciente al laboratorio respecto al manejo de los equipos.

Lo anterior refleja la implementación de un Sistema de Calidad acorde con la los requisitos exigidos en la norma técnica NTC-ISO/IEC 17025.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] NTC-ISO-17020 Criterios generales para la operación de varios tipos de organismos de inspección.
- [2] LUIS ENRIQUE LLAMOSA R, LUIS G. MEZA CONTRERAS, y MARCELA BOTERO ARBELAEZ, "Estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad utilizando el método de promedios y rangos para el aseguramiento de la calidad de los resultados de calibración de acuerdo con la norma técnica NTC -ISO/ IEC 17025", Scientia et Technica Año XIII, No 35, pp. 455-460, Agosto de 2007.
- [3] GTC-ISO/IEC 99 Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales, generales y términos asociados (VIM).
- [4] Humberto Gutierrez Pulido, *Control estadístico de calidad y seis sigma*, vol. I. Mexico D. F.: Mc Graw Hill, 2009, p. 278.
- [5] EVANS JAMES R. y LINDSAY WILLIAM. Administración y control de la calidad. México: Internacional Thomson Editores, 2000, p. 659-663, 674-677.