

# ENSAYO DE APTITUD PARA LA CALIBRACIÓN DE TORQUÍMETROS, DE 30 N·m A 300 N·m

J Jesús Galván Mancilla, Jorge C. Torres Guzmán  
 Centro Nacional de Metrología, CENAM  
 km 4.5 carretera a Los Cués, El Marqués, Querétaro, México  
 (52) 442 211 0500, fax (52) 442 211 0578; jgalvan@cenam.mx; jtorres@cenam.mx

**Resumen.** En este artículo se presentan los resultados del ensayo de aptitud en la calibración de torquímetros para laboratorios secundarios de calibración en el intervalo de medición de hasta 300 N·m. Los resultados de la calibración realizada por los 10 laboratorios participantes se presentan y se utiliza el método del error normalizado para verificar la compatibilidad de sus resultados con los valores de referencia.

## 1. INTRODUCCIÓN

La entidad mexicana de acreditación, a. c. (ema) para atender las necesidades de ensayos de aptitud del Subcomité de Evaluación de Fuerza y Par Torsional, solicitó al Centro Nacional de Metrología (CENAM) organizara un ensayo de aptitud en la calibración de torquímetros de par torsional, de 30 N·m a 300 N·m. El CENAM es el laboratorio piloto para este ensayo.

El código de identificación interno del CENAM para este ensayo de aptitud es el CENAM-EA-720-PT-06/2009.

## 2. OBJETIVO

Este ensayo de aptitud tuvo como objetivo determinar la proximidad de concordancia de los resultados de calibración de un torquímetro de par torsional entre los laboratorios acreditados, o en proceso de acreditación, vía una comparación [1, 2, 3]; los valores de referencia fueron los propuestos por el laboratorio piloto. El mensurando de la calibración del torquímetro en este ensayo fue el error del instrumento bajo calibración respecto al valor de referencia.

El ensayo de Aptitud se llevó a cabo del mes de diciembre de 2009 al mes de abril de 2010, se realizó en dos rondas de mediciones. Las calibraciones que realizó el CENAM fueron al inicio, al final de la primera ronda y al final del ensayo.

## 3. REQUISITOS

### a) Competencia técnica

Los laboratorios participantes debieron mostrar competencia técnica para realizar servicios de calibración de torquímetros en el alcance del ensayo

de aptitud, contar con un sistema de generación de par torsional y personal capacitado para estos servicios.

### b) Información requerida

Cada laboratorio debió enviar a CENAM lo siguiente:

- Descripción del sistema de calibración, incluyendo los transductores patrón.
- Fecha de última calibración de los instrumentos y patrones usados en el ensayo.
- Evidencia de la trazabilidad de sus mediciones.
- Incertidumbre de medición acreditada para este servicio.

## 4. CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO DE APTITUD

a) Instrumento utilizado (patrón de transferencia, PT):

Torquímetro Analógico Tipo Industrial			
Marca	Modelo	No. de serie	Intervalo de medición
URREA	6125	600605829	339 N·m

- b) Intervalo de medición: de 30 N·m hasta 300 N·m.
- c) Método de calibración: comparación.
- d) Puntos a calibrar: 30 N·m, 60 N·m, 120 N·m, 180 N·m, 240 N·m y 300 N·m.

## 5. LABORATORIOS PARTICIPANTES

Diez laboratorios secundarios de calibración participaron. La secuencia de participación se realizó en dos rondas de medición de acuerdo a su posición geográfica en el país, como se muestra en la figura 1.

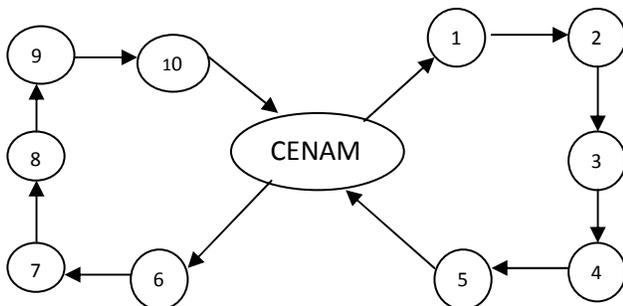


Figura 1. Rondas de calibraciones.

Los laboratorios participantes fueron:

- Arjessiger de México, S. A. de C. V.
- Neumática Fromi, S. A. de C. V.
- Laboratorio Judith Fernández Parra.
- Certifik Gemelo, S.A. de C.V.
- Nueva Aeronáutica Profesional, S.A. de C.V.
- Metrotécnica Industrial S.A. de C.V.
- Mundo Metrológico.
- Kalibrix, S.A. de C.V.
- Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial Lab. de Par Torsional-UDIT (San Luis Potosí).
- Metrolab, S.A. de C.V.

**6. PROCESO DE MEDICIÓN**

En la figura 2 se presenta la secuencia de los puntos de calibración requeridos como mínimo para este ensayo de aptitud.

En total, adicionalmente a la medición del cero, se midieron 6 puntos (seis diferentes pares torsionales) en forma ascendente y 4 posiciones de montaje. Los puntos de calibración fueron: 30 N·m, 60 N·m, 120 N·m, 180 N·m, 240 N·m y 300 N·m. En la primera posición de montaje se realizan 2 series de mediciones.

La toma de lecturas se realizaron en las 4 posiciones de montaje (0°, 90°, 180° y 270°), tomando como referencia el cuadrado de mando del transductor patrón de transferencia y en ambos sentidos de medición, sentido horario (SH) y sentido contra horario (SCH).

Para cada cambio en la posición de montaje del patrón de transferencia (PT) se aplicó una precarga de 300 N·m.

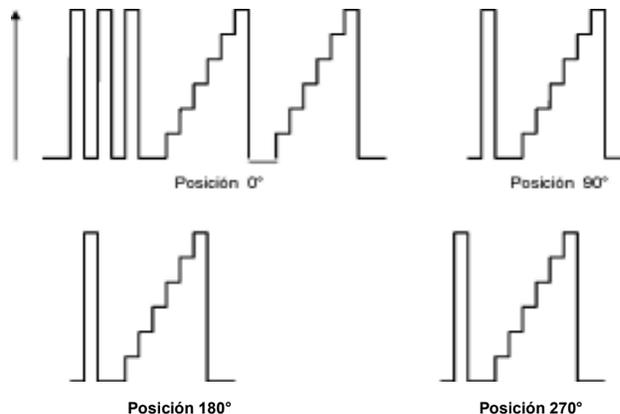


Figura 2. Secuencia de la calibración.

**7. INCERTIDUMBRE**

Las fuentes de incertidumbre que se evaluaron en la calibración del PT fueron al menos:

- Incertidumbre del patrón de calibración (sistema de calibración).
- Incertidumbre por repetibilidad de los datos.
- Incertidumbre por reproducibilidad.
- Incertidumbre por resolución.

La incertidumbre de las mediciones se reportó con un nivel de confianza de al menos 95% y con el factor de cobertura correspondiente.

**8. RESULTADOS**

Este ensayo de aptitud sólo consideró la evaluación de los resultados de calibración de los laboratorios participantes, no se evaluó ninguna otra característica técnica o administrativa.

Para la evaluación de los resultados de este ensayo, se usó el valor del error normalizado ( $E_n$ ), el cual se puede calcular con el siguiente modelo.

$$E_n = \frac{x_{lab} - x_{ref}}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}$$

Donde:

- $x_{lab}$  es el valor obtenido por el laboratorio participante,
- $x_{ref}$  es el valor de referencia obtenido por el laboratorio piloto,
- $U_{lab}$  es la incertidumbre expandida estimada por el laboratorio y
- $U_{ref}$  es la incertidumbre expandida obtenida por el laboratorio piloto.

De acuerdo al modelo del error normalizado, si el valor  $|E_n| \leq 1$  los resultados entre ambos laboratorios son aceptables y si  $|E_n| > 1$  los resultados no son aceptables. (NMX-EC043-IMNC-2005).

La Tabla 1 muestra los resultados de los laboratorios participantes con la información enviada por ellos.

Par Torsional N·m	CENAM			A			B		
	Error % L	$U_E$ (k=2) % L	$E_n$	Error % L	$U_E$ (k=2) % L	$E_n$	Error % L	$U_E$ (k=2) % L	$E_n$
300	-0.58	± 0.78	0.08	± 1.97	<b>0.31</b>	-0.40	± 0.62	<b>0.18</b>	
240	-0.11	± 0.93	-0.37	± 2.48	<b>-0.10</b>	0.67	± 1.07	<b>0.55</b>	
180	0.22	± 1.72	-0.71	± 3.31	<b>-0.25</b>	1.11	± 0.72	<b>0.48</b>	
120	0.00	± 1.67	-0.31	± 4.96	<b>-0.06</b>	0.00	± 1.02	<b>0.00</b>	
60	0.00	± 3.33	0.29	± 9.70	<b>0.03</b>	0.00	± 1.96	<b>0.00</b>	
30	0.00	± 6.67	0.93	± 19.19	<b>0.05</b>	0.00	± 3.86	<b>0.00</b>	
-30	0.00	± 6.67	2.79	± 19.13	<b>0.14</b>	2.67	± 4.93	<b>0.32</b>	
-60	0.00	± 3.33	1.96	± 9.66	<b>0.19</b>	3.33	± 2.79	<b>0.77</b>	
-120	1.00	± 2.01	1.35	± 4.97	<b>0.07</b>	1.67	± 1.45	<b>0.27</b>	
-180	0.37	± 1.11	1.34	± 3.44	<b>0.27</b>	0.89	± 1.10	<b>0.33</b>	
-240	0.11	± 1.02	1.37	± 2.75	<b>0.43</b>	0.50	± 1.22	<b>0.24</b>	
-300	-0.40	± 0.73	1.86	± 2.34	<b>0.92</b>	-0.53	± 0.63	<b>-0.14</b>	

Error % L	$U_E$ (k=2) % L	$E_n$	C			D			E			F		
			Error % L	$U_E$ (k=2) % L	$E_n$	Error % L	$U_E$ (k=2) % L	$E_n$	Error % L	$U_E$ (k=2) % L	$E_n$	Error % L	$U_E$ (k=2) % L	$E_n$
0.00	± 0.40	<b>0.66</b>	-0.41	± 0.97	<b>0.14</b>	-0.85	± 0.70	<b>-0.26</b>	0.20	± 1.12	<b>0.58</b>			
0.83	± 0.51	<b>0.89</b>	-1.14	± 0.93	<b>-0.78</b>	-1.42	± 0.80	<b>-1.06</b>	-0.06	± 1.18	<b>0.03</b>			
0.67	± 0.97	<b>0.23</b>	-1.36	± 1.07	<b>-0.78</b>	-2.07	± 1.10	<b>-1.12</b>	-0.48	± 1.01	<b>-0.35</b>			
-1.33	± 1.31	<b>-0.63</b>	-1.02	± 1.40	<b>-0.47</b>	-1.73	± 1.70	<b>-0.73</b>	-1.00	± 1.00	<b>-0.52</b>			
-3.33	± 1.95	<b>-0.86</b>	0.87	± 2.31	<b>0.21</b>	-1.53	± 3.30	<b>-0.33</b>	-2.49	± 1.24	<b>-0.70</b>			
-6.67	± 3.90	<b>-0.86</b>	-0.20	± 4.01	<b>-0.03</b>	-4.67	± 6.70	<b>-0.49</b>	-2.31	± 1.05	<b>-0.34</b>			
6.67	± 3.91	<b>0.86</b>	-1.40	± 4.28	<b>-0.18</b>	1.87	± 6.70	<b>0.20</b>	-0.93	± 1.08	<b>-0.14</b>			
3.33	± 1.95	<b>0.86</b>	-0.03	± 2.48	<b>-0.01</b>	1.13	± 3.30	<b>0.24</b>	-2.14	± 1.03	<b>-0.61</b>			
2.00	± 1.07	<b>0.44</b>	-0.23	± 1.82	<b>-0.45</b>	1.03	± 1.70	<b>0.01</b>	-1.01	± 1.02	<b>-0.89</b>			
0.89	± 0.71	<b>0.39</b>	-0.89	± 1.68	<b>-0.63</b>	0.93	± 1.10	<b>0.36</b>	-0.25	± 1.02	<b>-0.41</b>			
0.67	± 0.55	<b>0.48</b>	-0.95	± 1.59	<b>-0.56</b>	0.88	± 0.80	<b>0.60</b>	-0.39	± 1.13	<b>-0.33</b>			
0.00	± 0.40	<b>0.48</b>	-0.47	± 1.65	<b>-0.04</b>	1.32	± 0.70	<b>1.71</b>	-1.16	± 1.17	<b>-0.55</b>			

Error % L	$U_E$ (k=2) % L	$E_n$	G			H			I			J		
			Error % L	$U_E$ (k=2) % L	$E_n$	Error % L	$U_E$ (k=2) % L	$E_n$	Error % L	$U_E$ (k=2) % L	$E_n$	Error % L	$U_E$ (k=2) % L	$E_n$
0.53	± 0.74	<b>1.04</b>	0.47	± 0.86	<b>0.90</b>	-0.81	± 2.15	<b>-0.10</b>	1.01	± 1.93	<b>0.76</b>			
1.17	± 0.72	<b>1.08</b>	0.08	± 1.07	<b>0.14</b>	-0.84	± 2.73	<b>-0.25</b>	0.83	± 2.43	<b>0.36</b>			
1.56	± 0.92	<b>0.68</b>	-0.22	± 1.43	<b>-0.20</b>	-2.27	± 3.69	<b>-0.61</b>	-0.41	± 3.27	<b>-0.17</b>			
0.67	± 1.36	<b>0.31</b>	2.00	± 2.12	<b>0.74</b>	-0.33	± 4.77	<b>-0.07</b>	-0.13	± 4.90	<b>-0.03</b>			
-0.67	± 2.48	<b>-0.16</b>	6.67	± 3.91	<b>1.30</b>	-7.14	± 10.36	<b>-0.66</b>	-1.05	± 9.87	<b>-0.10</b>			
-1.33	± 4.98	<b>-0.16</b>	8.67	± 7.88	<b>0.84</b>	-4.17	± 19.79	<b>-0.20</b>	-1.29	± 19.74	<b>-0.06</b>			
4.00	± 5.16	<b>0.47</b>	-12.00	± 9.81	<b>-1.01</b>	0.00	± 19.33	<b>0.00</b>	-4.83	± 20.51	<b>-0.22</b>			
1.33	± 3.56	<b>0.27</b>	-7.33	± 4.62	<b>-1.29</b>	2.60	± 9.25	<b>0.26</b>	-2.16	± 9.98	<b>-0.21</b>			
1.00	± 2.74	<b>0.00</b>	-2.50	± 2.14	<b>-1.19</b>	6.54	± 4.44	<b>1.14</b>	-2.01	± 4.96	<b>-0.56</b>			
0.67	± 1.84	<b>0.14</b>	-0.78	± 1.45	<b>-0.63</b>	5.26	± 3.42	<b>1.36</b>	-1.13	± 3.31	<b>-0.43</b>			
0.17	± 1.82	<b>0.03</b>	-1.33	± 1.09	<b>-0.97</b>	3.54	± 2.57	<b>1.24</b>	-1.24	± 2.46	<b>-0.51</b>			
-0.13	± 1.30	<b>0.18</b>	-0.27	± 0.87	<b>0.12</b>	2.47	± 2.08	<b>1.30</b>	-0.37	± 1.99	<b>0.01</b>			

Tabla 1. Resultados del ensayo. Error,  $U_E$ ,  $E_n$ .

En las siguientes figuras se muestran las gráficas correspondientes a la desviación relativa (Figura 3), desviación relativa con incertidumbre expandida (Figura 4) y al valor del error normalizado  $|E_n|$  (Figura 5) contra los valores de referencia de los

laboratorios. Esto analizado con los resultados enviados por los laboratorios participantes.

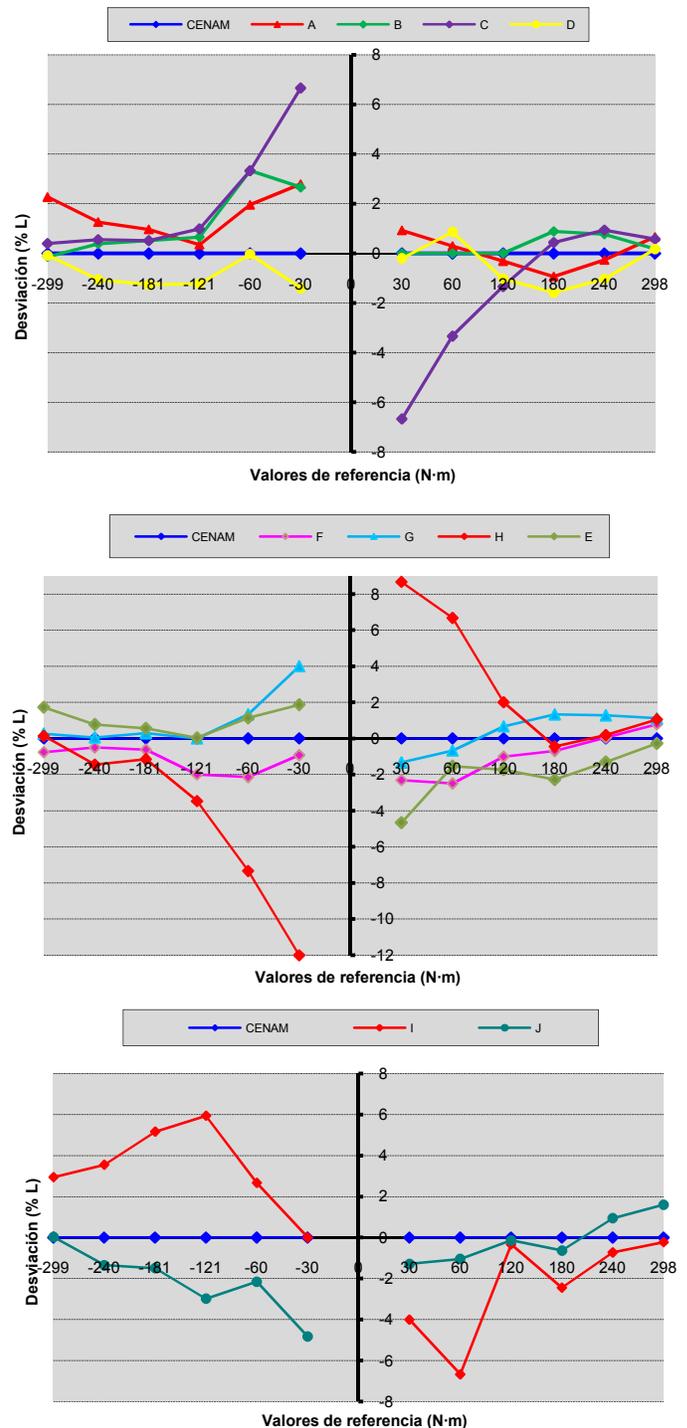


Figura 3. Desviación relativa contra los valores de referencia del CENAM, 300 N·m.

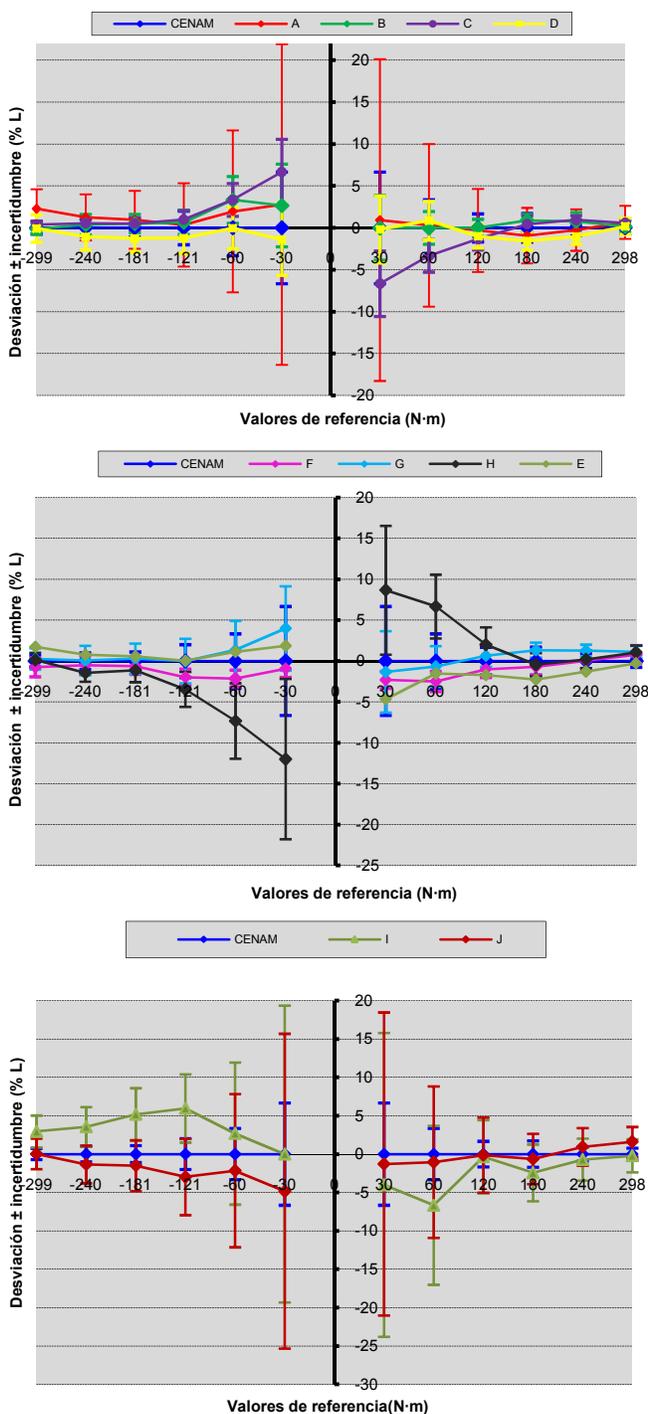


Figura 4. Desviación relativa e incertidumbre contra los valores de referencia del CENAM, 300 N-m.

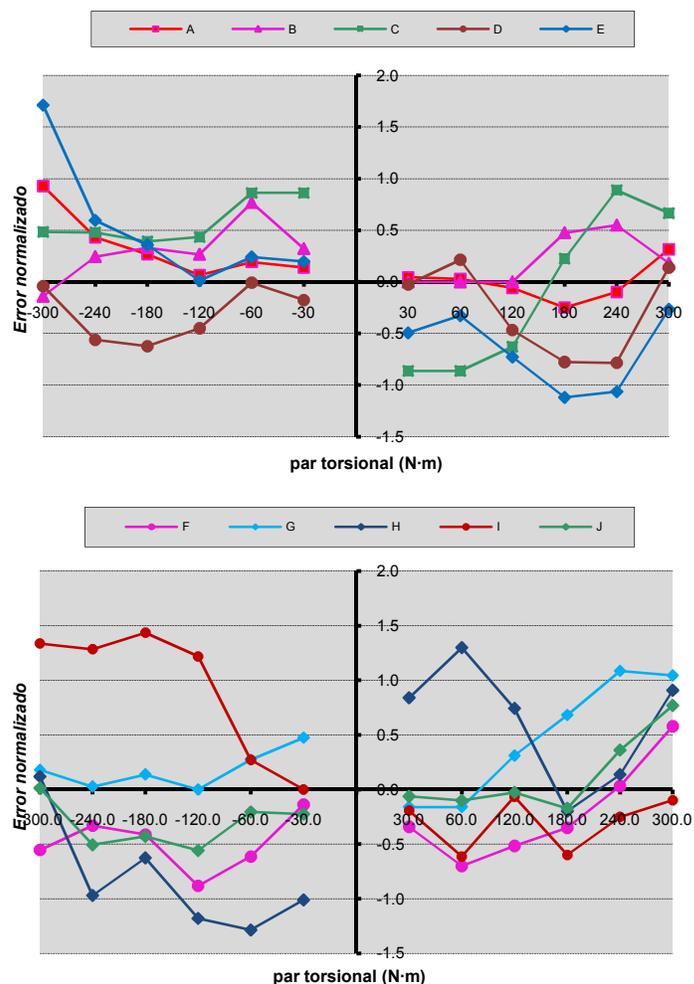


Figura 5. Error normalizado contra los valores de referencia del CENAM, 300 N-m.

### 9. OBSERVACIONES Y COMENTARIOS

Con los resultados y la información enviada por los laboratorios, se tuvieron las siguientes observaciones.

No enviaron:

- La descripción de su sistema de calibración.
- Descripción general de procedimientos de calibración o procedimientos resumidos.
- Análisis de incertidumbre del sistema de calibración.

Con respecto a los resultados, algunos laboratorios:

- No evalúan reproducibilidad.
- Combinan lecturas en posición cero con posiciones de reproducibilidad y la estiman como repetibilidad.

- Tienen confusiones respecto al manejo y estimación de la resolución.
- Tienen errores en la toma de lecturas en la resolución que declaran del patrón de transferencia.
- Tienen errores en las hojas de cálculo (ecuaciones).
- En los cálculos utilizan la  $U$  del certificado, no la de la acreditación.
- Algunos de los informes de calibración no cumplen con el punto 5.10 de la 17025.

## 10. CONCLUSIONES

En el presente ensayo participaron 10 laboratorios, de los cuales, 6 laboratorios (60%) tienen todos los puntos de medición  $En \leq 1$  y 4 laboratorios (40%) tienen 4 o menos puntos de medición  $En > 1$ . Ningún laboratorio obtuvo más del 33% de sus puntos de medición  $En > 1$ . Solo un punto de medición de un laboratorio obtuvo  $En > 1.5$ .

Se observó que existen confusiones en conceptos metrológicos, así como en el proceso de calibración, efectos de instalación, toma de lecturas y herramientas para el análisis y estimación de incertidumbres. Se recomienda capacitar al personal que realiza las calibraciones y evaluar su habilidad.

Como conclusión este ensayo fue exitoso dados los resultados obtenidos por los laboratorios con errores normalizados menores a 1 o muy cercanos a 1. Adicionalmente, se pudieron identificar las oportunidades de mejora y los laboratorios podrán mejorar sus resultados al implantarlas.

## REFERENCIAS

- [1] NMX-EC043-IMNC-2005 *Ensayos de aptitud por comparaciones interlaboratorios – Parte 1: Desarrollo y funcionamiento de programas de ensayos de aptitud.*
- [2] Galván-Mancilla J. J., Torres-Guzmán J. C., Ramírez D. “Torque proficiency test among accredited laboratories in Mexico”. IMEKO 20<sup>th</sup> TC3, 3<sup>rd</sup> TC16 & 1<sup>st</sup> TC22 Internl. Conference. Mérida, México. 2007.
- [3] Torres-Guzman J. C., Ramirez-Ahedo D., Cruz J., Cabral L., Soares de Oliveira R., de Freitas Guilherme R. “SIM torque comparison between CENAM (Mexico) and INMETRO (Brazil) up to 100 N·m”. XVIII IMEKO WORLD CONGRESS, Rio de Janeiro, Brasil. 2006.