

PRESENTE Y FUTURO DE LA METROLOGÍA DE FUERZA Y DE PAR TORSIONAL EN MÉXICO

Torres Guzmán J., Ramírez Ahedo D.
Centro Nacional de Metrología, CENAM
km 4,5 carretera a Los Cués, El Marqués, Querétaro, México
Teléfono (52) 442 211 0572, fax (52) 442 211 0578, dirección de correo electrónico: itorres@cenam.mx

Resumen: El Centro Nacional de Metrología – CENAM, inició operaciones en 1994 y ha desarrollado funciones de acuerdo a la Ley Federal de Metrología y Normalización – LFMN. La función más importante es la de fungir como laboratorio de referencia para el Sistema Nacional de Calibraciones – SNC. Para el cumplimiento de esta meta se han desarrollado varias actividades y proyectos en las magnitudes de fuerza y de par torsional.

Aquí se presentan las actividades más importantes y de mayor impacto desarrolladas en esta década, así como los planes de acciones más relevantes para los próximos años en metrología de fuerza y de par torsional.

1. INTRODUCCIÓN

Las magnitudes fuerza y par torsional son de uso común en la industria, se utilizan en rotores de helicópteros, en pruebas en pedales de embragues de automóviles, entre muchas aplicaciones. Los límites de tolerancias, en muchos casos, especifican las exactitudes utilizadas. Algunas veces, los instrumentos para medición de estas magnitudes no son mantenidos adecuadamente (en términos metrológicos), por lo que las mediciones obtenidas no son conformes - respecto a las especificaciones requeridas - produciendo efectos negativos y difíciles de controlar en el producto y/o en el proceso. Para minimizar esos efectos negativos debidos a la trazabilidad de las mediciones con los instrumentos (de la industria, laboratorios de pruebas, laboratorios secundarios) [1], el CENAM estableció los laboratorios nacionales de fuerza en 1994 y de par torsional en 1996.

2. LOS PATRONES DE MEDICIÓN DE FUERZA Y PAR TORSIONAL EN CENAM

En estos 10 años, el CENAM ha implantado dos laboratorios de metrología de fuerza y uno de par torsional. Para el establecimiento de estos laboratorios se han aplicado normas internacionales de calidad y de metrología [2, 3, 4, 5]. El desarrollo ha sido progresivamente y de acuerdo con las necesidades de los laboratorios secundarios y de la industria, así como a las funciones establecidas para el CENAM en la Ley Federal de Metrología y Normalización – LFMN [6].

El primer laboratorio, de máquinas de transferencia de fuerza, entró en operación en 1994. Este laboratorio permitió dar el servicio de trazabilidad a los laboratorios existentes, con el crecimiento de la demanda de servicios y con el aumento en la demanda de la exactitud requerida, en 1996 se iniciaron servicios en el laboratorio de masas suspendidas [7]. En ese mismo año el laboratorio de par torsional inició operaciones [8].

2.1 Patrones de Medición de Fuerza

La diseminación de la magnitud de fuerza se realiza a partir de patrones de medición primarios, conocidas como máquinas de masas suspendidas. En el caso de “grandes” fuerzas, se disemina a partir de máquinas de transferencia de alta exactitud, las cuales consisten en una máquina de pistón hidráulico con celdas de carga de alta exactitud como patrón de referencia.

La tabla 1 muestra los patrones nacionales de fuerza, su alcance de medición y su incertidumbre de medición. En el caso de los patrones primarios de fuerza (MMS), la magnitud se realiza con la suspensión de masas y la acción de la gravedad local [9]. En el caso de las máquinas de transferencia de fuerza (MTF), el principio es mediante la comparación directa contra un patrón secundario.

Para muy alto alcance se cuenta con un transductor de fuerza de alta exactitud. Este funge como patrón nacional y permite otorgar el servicio de calibración en sitio.

Designación	Alcance de Medición		Incertidumbre de medición (k = 2)
	Min	Max	
MMS-150 kN	2,5 kN	150 kN	$\pm 2 \cdot 10^{-5}$
MMS-50 kN	0,5 kN	50 kN	$\pm 2 \cdot 10^{-5}$
MMS-2,5 kN	50 N	2,5 kN	$\pm 2 \cdot 10^{-5}$
MTF-500 kN	50 kN	500 kN	$\pm 5 \cdot 10^{-4}$
MTF-1 MN	100 kN	1 MN	$\pm 5 \cdot 10^{-4}$
MTF-2 MN	200 kN	2 MN	$\pm 5 \cdot 10^{-4}$
TFP-5 MN	2 MN	5MN	$\pm 1 \cdot 10^{-3}$

Tabla 1. Patrones de medición de fuerza en CENAM.

2.2 Patrones de Medición de Par Torsional

El patrón nacional de par torsional [8], disemina la magnitud mediante calibraciones a transductores de referencia patrón de los laboratorios secundarios. El sistema primario consta, de acuerdo a la definición de la magnitud [10], de un brazo de palanca, un sistema de apoyo, un sistema de nivelación y un sistema de masas para aplicación de carga.

En la tabla 2, se muestran los patrones del CENAM para esta magnitud [11, 12, 13].

Designación	Alcance de Medición		Incertidumbre de medición (k = 2)
	Min	Max	
PNPT-2 kNm	1 Nm	2 kNm	$\pm 5 \cdot 10^{-4}$
PPPT-2 kNm	1 Nm	2 kNm	$\pm 5 \cdot 10^{-5}$

Tabla 2. Patrones de medición de par torsional en CENAM.

3. LABORATORIOS SECUNDARIOS DE CALIBRACIÓN DE FUERZA Y DE PAR TORSIONAL EN MÉXICO

La especialidad de fuerza y par torsional del CENAM ha colaborado estrechamente con empresas y laboratorios secundarios con el propósito de establecer laboratorios secundarios que permitan diseminar estas magnitudes en forma adecuada y apoyar el desarrollo de las actividades que involucran metrología técnica y legal en estas magnitudes. Se ha establecido colaboración estrecha con el SNC (de conformidad con los artículos número 25 y 30 de la LFMN). A partir de 1996, se impulso la colaboración con el SNC y se incluyeron varias actividades tales como: reuniones del SNC del grupo de trabajo de fuerza y par torsional, asesorías grupales, proyectos individuales (por laboratorio), cursos avanzados por magnitud

(exclusivos para el SNC), comparaciones nacionales entre laboratorios secundarios (con el CENAM como organizador y laboratorio piloto).

La cantidad de laboratorios secundarios de Fuerza y Par Torsional ha crecido significativamente desde que el CENAM inició operaciones en 1994. Una comparativa del número de laboratorios entonces¹ y ahora² se muestra a continuación.

Magnitud	1994	2004	En vías
Fuerza	7	17	5
Par torsional	0	8	5

Tabla 3. Laboratorios secundarios de calibración de fuerza y de par torsional acreditados en México.

La siguiente figura muestra la distribución de los laboratorios acreditados y no acreditados en fuerza y en par torsional en México.



Figura 1. Distribución de laboratorios secundarios de fuerza y par torsional en México, 2004.

4. NORMALIZACIÓN EN FUERZA Y EN PAR TORSIONAL

El grupo de trabajo de Fuerza y Par Torsional formado por laboratorios secundarios y CENAM, se ha dado a la tarea de revisar las normas mexicanas en el campo de fuerza. Las normas mencionadas son la NMX-CH23-SCFI-1994 y la norma NMX-CH27-SCFI-1994.

Para par torsional, el CENAM propuso al IMNC una norma para la calibración de herramientas de

¹ Datos obtenidos de DGN (SNC).

² Datos obtenidos de la página de red de la ema.

medición de par torsional, compatible con la norma ISO-6789. El resultado de estos trabajos deberá ser concretado en breve para su actualización y formalización.

El CENAM ha realizado propuestas de calibración de máquinas de ensayo de fuerza [14] y para la calibración de elementos elásticos [15].

En el campo de evaluación de incertidumbre en Fuerza y Par Torsional, CENAM ha realizado cursos de actualización en estas magnitudes.

4.1 Normalización en el Plano Internacional

En par torsional, a la fecha, existe solamente una norma internacional para la calibración de herramientas de par torsional (ISO-6789).

En el campo internacional la EAL ha realizado intentos para armonizar los métodos de calibración y expresión de la incertidumbre en las mediciones de estas magnitudes. En este momento la tendencia es elaborar una norma ISO sobre la base del trabajo realizado por EAL.

También existen a nivel nacional en otros países normas para calibración de transductores de par torsional, como las normas DIN-51309 o DKD-3-8.

5. COMPARACIONES NACIONALES E INTERNACIONALES

Por otra parte, y con el fin de homogenizar los resultados obtenidos por los laboratorios secundarios al realizar mediciones y calibraciones, desde 1996 se han organizado comparaciones nacionales entre laboratorios secundarios [16, 17]. Estas comparaciones nacionales se han llevado a cabo en las 2 magnitudes, fuerza y par torsional. Para algunas comparaciones se realizó una publicación técnica que se presentó en congresos nacionales o internacionales [18, 19, 20, 21].

En las secciones siguientes se resumen las comparaciones nacionales e internacionales realizadas en las magnitudes de fuerza y de par torsional.

5.1 Comparaciones Nacionales

En la columna de número de laboratorios participantes se incluye entre paréntesis el laboratorio piloto y organizador de la comparación.

Fuerza	No. de labs.	Año
1ª. Comparación 1 MN	5 (CENAM)	1996
2ª. Comparación 100 kN	11 (CENAM)	1997
3ª. Comparación 1 MN	11 (CENAM)	1998
4ª. Comparación 100 kN	14 (CENAM)	2001
Par Torsional	No. de labs.	Año
1ª Comparación 320 Nm	8 (CENAM)	2001

Tabla 4. Comparaciones nacionales en las magnitudes de fuerza y de par torsional.

5.2 Comparaciones Internacionales

En la columna de número de laboratorios participantes se incluye entre paréntesis el laboratorio piloto. En general la organización de la comparación la realizó el CENAM a excepción de la comparación del CCM en la cual el laboratorio piloto se encargó de la organización.

Fuerza	No. de Labs.	Año
IMGC/España/CENAM 150 kN	3 (IMGC)	1996
SIM 60 kN - 150 kN	7 (CENAM)	1997
Brasil /CENAM 60 kN - 150 kN	4 (CENAM)	1997
Brasil /CENAM 20 kN - 50 kN	3 (CENAM)	1997
NIM/CENAM 10 kN - 100 kN	2 (NIM)	1998
PTB/CENAM 2 kN - 150 kN	2 (PTB)	1998
CCM 5 kN y 10 kN	15 (MIKES)	2000
SIM 4 kN - 10 kN	7 (CENAM)	2003
Par Torsional	No. de Labs.	Año
PTB/CENAM 2 kNm	2 (PTB)	1996 1998

Tabla 5. Comparaciones internacionales en las magnitudes de fuerza y de par torsional en las que México ha participado.

6. PERSPECTIVAS EN FUERZA Y PAR TORSIONAL

En esta sección se incluye información concerniente a metrología primaria para cada una de las magnitudes.

6.1 Fuerza

6.1.1 Nivel Nacional

Desde 2003 se ha trabajado en el desarrollo de un patrón de transferencia de grandes fuerzas. Este nuevo patrón esta basado en la metodología de sumatoria de fuerzas (Build Up) y con el desarrollo de 2 sistemas independientes (uno de 465 kN y otro de 1,5 MN) se tendrá capacidad para dar trazabilidad nacional a transductores de fuerza de

hasta 2 MN. Este patrón quedará implantado a fines de este año (2004).

También, se tiene contemplado el diseño y construcción de una máquina hidráulica de transferencia de fuerza de hasta 5 MN para la calibración, bajo condiciones controladas, de transductores de fuerza.

A mediano plazo, se contempla el desarrollo de un patrón de masas suspendidas para pequeñas fuerzas con alcance máximo de 10 N.

6.1.2 Nivel Internacional

Se están desarrollando 2 comparaciones dentro del SIM, una con un alcance de medición de 1 kN y la otra de hasta 50 kN.

También, en 2005, se desarrollará una comparación internacional del CIPM con alcance de medición de hasta 100 kN. En esta comparación México (CENAM) está incluido.

6.2 Par Torsional

6.2.1 Nivel Nacional

Se están desarrollando 2 patrones nacionales para cubrir necesidades previstas en los laboratorios secundarios y en la industria nacional. Uno de bajo par con alcance de medición máximo de 20 Nm y otro para grandes pares con alcance de medición máximo de 20 kNm.

La segunda comparación nacional entre laboratorios secundarios esta en preparación y se prevé la planeación de un programa de comparaciones y cursos taller avanzados para el SNC durante el Simposio de metrología (octubre 2004).

En cuanto a normas, la primera NMX en par torsional ("torquímetros") se espera este activa a fines de este año (2004) y a corto plazo se presentará la iniciativa para establecer un programa de otras NMX a desarrollar.

6.2.2 Nivel Internacional

Se ha establecido el primer programa de comparaciones clave del CIPM. En este programa se contemplan las comparaciones de hasta 1 kNm y de hasta 20 kNm. En las 2 comparaciones se ha incluido a México – CENAM - como uno de los laboratorios participantes.

7. CONCLUSIONES

Los cimientos de la metrología de fuerza y de par torsional están firmes y el trabajo desarrollado por el CENAM y por el SNC facilita la planeación estratégica para acceder a un plano preponderante a nivel internacional.

En nuestro país, es necesario acelerar los esfuerzos hacia la normalización y evaluación de la conformidad a los estados de desarrollo internacional. También, es necesario realizar comparaciones nacionales entre laboratorios secundarios para asegurar homogeneidad y compatibilidad y en el ámbito internacional dirigido a definir condiciones óptimas de competencia y reconocimiento de la metrología mexicana en las magnitudes de Fuerza y Par Torsional.

Otra área de oportunidad, es apoyar el desarrollo de fabricantes nacionales de instrumentos de medición de fuerza y par torsional mediante trabajos de investigación y desarrollo tecnológico que permitan mejorar y/o desarrollar este campo [22, 23].

El desarrollo de la metrología industrial o técnica en las magnitudes de fuerza y par torsional tiene campo abierto para el aseguramiento de la calidad de las mediciones y el uso eficiente de las mediciones e instrumentos en resistencia de materiales y aplicaciones industriales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de la especialidad de fuerza y par torsional del CENAM para el logro de los resultados alcanzados y por su entrega y dedicación.

REFERENCIAS

- [1] Torres Guzmán J. C., Mida su Fuerza para Aumentar su Productividad. Memorias del Congreso PROMET. Querétaro, México. Noviembre 1995.
- [2] Ramirez Ahedo D., Determinación de la Incertidumbre en la Calibración de Dispositivos Elásticos para Medición de Fuerza. Memorias del Congreso PROMET. Querétaro, México. Noviembre 1995.
- [3] Torres Guzmán J. C., Cederborg Almeyda B., Importancia de la Metrología en la Aplicación de la Norma ISO 9000 y la Guía 25 ISO/IEC. Memorias de las Primeras Jornadas Técnicas

- de Laboratorios de la Industria Petrolera y Petroquímica. Cardón, Venezuela. Mayo 1997.
- [4] Torres Guzmán J. C., Ramirez Ahedo D., Aseguramiento de la Calidad en las Mediciones de Fuerza. Memorias del XV Seminario Nacional de Metrología, ISN-0188-4328. Querétaro, México. Octubre 1999.
- [5] Torres Guzmán J. C., Administración de Laboratorios de Metrología, XVII Congreso Nacional de Metrología y Normalización. Puebla, México. Octubre 2001.
- [6] Ley Federal Sobre Metrología y Normalización, 1992 – 1999. México.
- [7] Torres Guzmán J. C., Franco Pérez A., Resultados Preliminares de la Comparación Internacional entre Patrones Primarios de Fuerza. Memorias del congreso Metrología '96. La Habana, Cuba. Octubre 1996.
- [8] Ramirez Ahedo D., Torres Guzmán J. C., Peschel D., Diseño y Construcción de un Sistema de Medición de Par Torsional en CENAM (México). Memorias del Congreso Metrología '96. La Habana, Cuba. Octubre 1996.
- [9] Franco Perez A., Mendoza Illescas J., Torres Guzman J. C., Determination of the Masses' Value and Uncertainty for the 150 kN Force National Standard from CENAM Mexico. IMEKO TC3/APMF '98. Taejon, Corea. Septiembre 1998.
- [10] Ramírez Ahedo D., Torres Guzmán J. C., Medición Primaria de Par Torsional. XIV Seminario Nacional de Metrología. Aguascalientes, México. Agosto 1998.
- [11] Galván Mancilla J., Ramirez Ahedo D., Torres Guzmán J. C., Sistema de Control para el Patrón Nacional de Par Torsional. Congreso Nacional de Instrumentación, SOMI XV. MTE 1-1. Querétaro, México. Octubre 2001.
- [12] Ramírez D., Torres J., Diseño y Construcción del Patrón Primario nacional de Par Torsional en México. Simposio de Metrología CENAM. Mayo 2001.
- [13] Galván Mancilla J. J., Torres Guzmán J. C., Automatic Control System For The Torque National Standard, Journal of Applied Research and Technology No. 4, Art. 361. 2004.
- [14] Ramírez D., Torres J., Sawla A., Propuesta para la Determinación de la Incertidumbre en la Calibración de Máquinas de Pruebas en Tensión / Compresión en México. Memorias del IV Congreso Internacional y XVI Nacional de Metrología y Normalización AMMAC. Guadalajara, Jalisco México. Página SPA-21-01 a SPA-21-08. 2000.
- [15] Ramírez D., Torres J., Propuesta para la Determinación de la mejor capacidad de medición de máquinas y sistemas de calibración de fuerza y su clasificación para laboratorios acreditados. Memorias del XV Seminario Nacional de Metrología AMMAC. Querétaro, Querétaro, México. Páginas ESN2-1 a ESN2-4. 1999.
- [16] Torres Guzmán J. C., Guía y Lineamientos Generales para Comparaciones de Patrones de Medición, Memorias del Segundo Congreso Internacional Metrocal. Concepción, Chile. Abril 2001.
- [17] Torres Guzmán J. C., Comparaciones de Patrones de Medición, IV Congreso Internacional y XVI Nacional de Metrología y Normalización. Guadalajara, México. Octubre 2000.
- [18] Torres Guzmán J. C., Sawla A., Ramirez Ahedo D., Force Standards Comparison between PTB (Germany) and CENAM (Mexico). Proceedings, Joint International Conference on Force, Mass, Torque, Hardness and Civil Engineering Metrology, IMEKO TC3/TC5/TC20, Celle, Germany. Septiembre 2002.
- [19] Li Qingzhong, Torres Guzmán J. C., Ramirez Ahedo D., Force Standards Comparison between CENAM (Mexico) and NIM (China). Simposio de Metrología 2002. Querétaro, México. Mayo 2002.
- [20] Torres Guzmán J. C., Ramirez Ahedo D., Cruz P. J., Dead Weight Machines Comparison within the Interamerican Metrology System (SIM), up to 150 kN. Proceedings of the 17th International Conference in Force, Mass, Torque and Pressure Measurements, IMEKO TC3. Istanbul, Turkey. Septiembre 2001.
- [21] Torres Guzmán J. C., Ramirez Ahedo D., Cruz P. J., Saffar J. M. E., Force Standards Comparison between Mexico and Brazil. Proceedings of the 17th International Conference on Force, Mass, Torque and Pressure Measurements, IMEKO TC3, Istanbul, Turkey. Septiembre 2001.
- [22] Cervantes Contreras J., Torres Guzmán J. C., Influencia del tiempo en celdas de carga de alta exactitud, Memorias del Congreso Nacional de Metrología y Normalización. Monterrey, N. L., México. Octubre 2003.
- [23] Torres Guzmán, J. C., Flores Martínez, F. J., Caracterización de Elementos Elásticos para la Medición de Fuerza. XVIII Congreso Nacional de Metrología y Normalización. México, D. F. Septiembre 2002.