

ENSAYO DE APTITUD EN LA MAGNITUD PAR TORSIONAL PARA LABORATORIOS DEL SNC (50 N·m a 500 N·m).

Ramírez Ahedo Daniel A., Torres Guzmán Jorge C., Galván Mancilla J. Jesús

Centro Nacional de Metrología, CENAM
km 4,5 Carretera a Los Cués, El Marqués, Querétaro, México
Teléfono (52) 442 211 0500, fax (52) 442 211 0578

Dirección de correo electrónico: dramirez@cenam.mx, itorres@cenam.mx, jgalvan@cenam.mx

Resumen: El laboratorio de Par Torsional del Centro Nacional de Metrología (CENAM) tiene, como uno de sus objetivos, verificar y armonizar la competencia técnica de los laboratorios del Sistema Nacional de Calibraciones (SNC) con el fin de promover una red de laboratorios con mediciones confiables y con un nivel de concordancia entre ellos, dentro de la mejor capacidad de medición declarada por cada laboratorio. El presente documento informa de los resultados obtenidos en el ensayo de aptitud, el cual se realizó mediante la calibración y medición - por parte de los laboratorios participantes - de un transductor (del tipo torquímetro) de transferencia de par torsional previamente calibrado por el CENAM. El alcance de medición fue 50 N·m a 500 N·m y CENAM se encargó de la coordinación y análisis de la información proporcionada por los laboratorios participantes. En este ensayo de aptitud participaron laboratorios del SNC cuyos resultados podrían servir de base para cumplir requisitos de la norma NMX-EC-17025-IMNC. Información adicional y oportunidades genéricas de mejora para los laboratorios de calibración – siempre presentes en cualquier sistema de calidad bajo el esquema de mejora continua – se presentan en este documento. Adicionalmente fueron entregados los resultados individualizados a cada laboratorio.

1. INTRODUCCIÓN

Este documento resume los resultados del ensayo de aptitud realizado por el Centro Nacional de Metrología en la magnitud de Par Torsional con los laboratorios de la red del Sistema Nacional de Calibración (SNC).

El objetivo de la práctica en cuestión fue determinar la compatibilidad y el grado de concordancia entre las mediciones de la red de laboratorios secundarios (acreditados y no acreditados), que forman parte del SNC en la magnitud par torsional. La necesidad de este ejercicio es debido a que en México existe un número de laboratorios secundarios (acreditados y no acreditados) con diferencias en sus patrones y sistemas de medición utilizados para la calibración de los instrumentos de medición de par torsional. Por ejemplo, algunos laboratorios utilizan el método de medición de brazo de palanca y masas suspendidas, mientras que otros utilizan un sistema de transferencia con transductor patrón calibrado. El programa global de este ensayo de aptitud fue desarrollado y propuesto por el CENAM y aprobado por los laboratorios participantes. El ejercicio fue iniciado en julio del

2005 y finalizó en diciembre del mismo año. Durante el desarrollo del ensayo de aptitud, el laboratorio de Par Torsional del CENAM realizó una medición inicial del patrón de transferencia, una medición intermedia y una medición final con el fin de verificar la estabilidad del patrón itinerante.

Cada uno de los laboratorios participantes que se muestran en la Tabla 1, realizaron las mediciones en sus sistemas de medición siguiendo para tal efecto los lineamientos dados en el protocolo de medición [1].

2. DESARROLLO

El ensayo de aptitud fue realizado siguiendo para tal efecto los lineamientos y el protocolo de medición descritos en [1]. Los resultados de cada laboratorio se enviaron al CENAM para su revisión y el correspondiente análisis para su evaluación. El CENAM fue el encargado de generar los valores de referencia para realizar la evaluación del patrón de itinerante y del ensayo de aptitud individual de cada laboratorio. En este documento, la evaluación se resume en dos gráficas con la información generada de cada laboratorio:

- i) Gráfica de desviación relativa de cada laboratorio; y
- ii) Gráfica de error normalizado de cada laboratorio.

2.1 Laboratorios participantes

A continuación se muestra la lista de laboratorios participantes en este ensayo de aptitud y el programa de mediciones propuesto en la figura 1.

Nota: Algunos laboratorios solamente participaron en un intervalo de medición limitado debido a los alcances de sus patrones y sistemas de medición.

No.	Laboratorio
1	Servicios Profesionales de Calibración
2	Metrología y Pruebas
3	Metalsa
4	Soluciones de Metrología
5	Metrolab
6	Caltechnix de México
7	Francisco Ángel Fernández Parra
8	Soluciones y Control de Medición
9	Arjessiger de México
10	Neumática Fromi

Tabla 1. Lista de laboratorios participantes en el ensayo de aptitud en par torsional hasta 500 N·m.

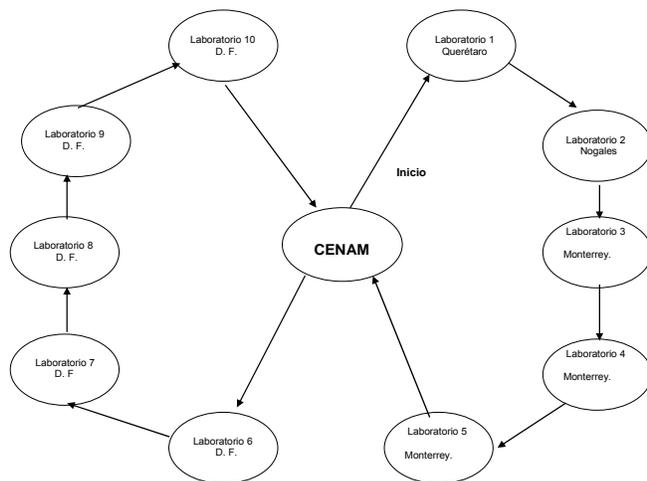


Figura 1. Programa del ensayo de aptitud en Par Torsional.

2.2 Patrón Utilizado

Para este ensayo de aptitud se utilizó como patrón de transferencia un transductor de par torsional tipo Torquímetro, marca GSE, modelo 1175-500, número de serie 124, alcance de medición 680 N·m, clase de exactitud $\pm 0,5\%$ o mejor según especificaciones del fabricante. Se muestra este equipo en la Figura 2. Para la calibración del patrón de transferencia y el establecimiento de los valores de referencia, se utilizó el Patrón Nacional de Par Torsional (PNTPT-2kNm), en el alcance de medición de 50 N·m hasta 500 N·m, con incertidumbre expandida relativa de medición de $\pm 5 \cdot 10^{-4}$.



Figura 2. Patrón itinerante utilizado para el ensayo de aptitud.

Para evitar componentes mecánicas no deseadas (fuerzas o momentos parásitos), se realizó la medición del patrón itinerante sin acoplamiento flexible en el PNTPT-2kNm [2]. El cubo de mando fue fijado de manera que se asegurase la repetibilidad y reproducibilidad de la medición dentro de los límites especificados por el fabricante. La Figura 7 muestra una gráfica de las mediciones realizadas en este equipo.

2.3 Protocolo de Medición

La Figura 3 muestra el proceso de medición que se siguió para este ejercicio. Los puntos de medición en el alcance especificado fueron: 50 N·m, 100 N·m, 200 N·m, 300 N·m, 400 N·m y 500 N·m. La toma de lecturas debió realizarse en 4 posiciones de montaje del patrón itinerante (0° , 90° , 180° y 270°) tomando como referencia el cubo de mando del transductor patrón itinerante. Lo anterior se realizó en ambos sentidos de medición, horario y contra horario (SH y SCH). En la posición 0° se realizaron tres precargas hasta 500 N·m, seguido por la serie de mediciones establecidas. Para cada cambio de la posición de montaje del patrón de transferencia, se aplicó una nueva precarga.

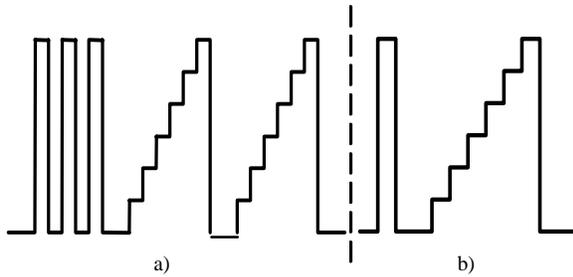


Figura 3. Proceso de medición realizado en el ensayo de aptitud: a) esquema de mediciones en posición 0° y, b) esquema de mediciones en posición de 90°, 180° y 270°.

Cada laboratorio participante envió a CENAM los datos de las mediciones así como el informe de calibración, soportándolo con la siguiente información: i) los datos de las mediciones tal y como fueron obtenidas del proceso de medición; ii) el error relativo del patrón itinerante respecto a la medición realizada por el laboratorio; iii) la incertidumbre declarada o acreditada del sistema de medición de cada laboratorio; iv) la incertidumbre expandida de la calibración y, v) las fuentes de incertidumbre adicionales consideradas de acuerdo al procedimiento de cada laboratorio.

Se usaron las recomendaciones establecidas en la GUM “Guide To The Expression Of Uncertainty In Measurement ISO-IEC-OIML-BIPM” para el análisis de los resultados.

3. RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados de cada laboratorio participante. La gráfica de la Figura 4 muestra la desviación relativa en porcentaje de la lectura de cada laboratorio respecto al valor de referencia calculado como el valor promedio de todos los laboratorios.

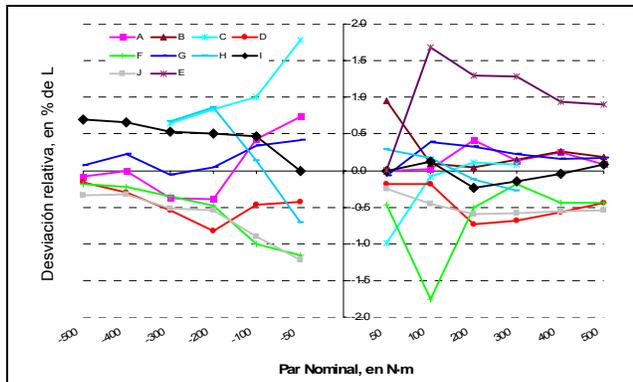


Figura 4. Gráfica de desviación relativa en % de la lectura de cada laboratorio participante.

En la gráfica de la Figura 5 se muestra el error normalizado de cada laboratorio respecto del valor de referencia. El grado de equivalencia entre los resultados de las mediciones de los laboratorios fue determinado a partir del error normalizado de acuerdo con la expresión de la Ecuación 1. Ver referencia [3].

$$e_n = \left| \frac{L_{Lab-i} - L_{Ref}}{\sqrt{(U_{Ref})^2 + (U_{Lab-i})^2}} \right| \tag{1}$$

Donde:

- e_n - error normalizado calculado en cada paso de carga;
- L_{Ref} - lectura del valor de referencia;
- L_{Lab-i} - lectura del laboratorio i-ésimo,
- U_{Ref} - incertidumbre expandida del valor de referencia, con $k=2$, con nivel de confianza del 95%,
- U_{Lab-i} - incertidumbre expandida declarada por el laboratorio i-ésimo con $k=2$, con nivel de confianza del 95%.

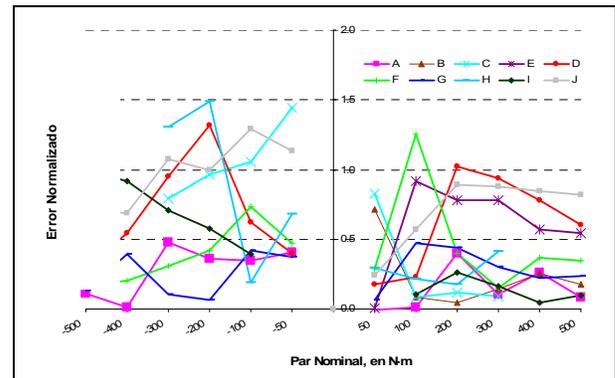


Figura 5. Gráfica de error normalizado de los laboratorios participantes.

La figura 6 muestra un resumen gráfico de las oportunidades de mejora que se observaron durante el análisis de los datos para cada laboratorio de acuerdo al seguimiento de los lineamientos del ensayo de aptitud.

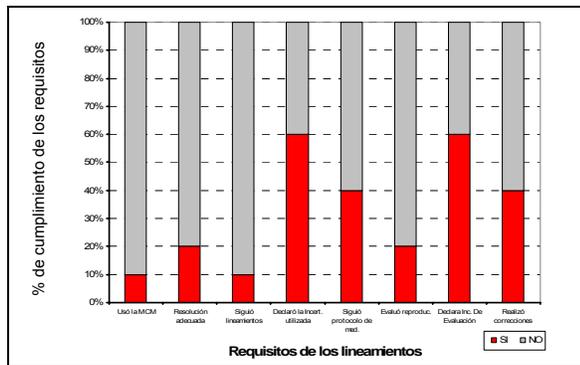


Figura 6. Gráficas de oportunidades mejora para los laboratorios.

Algunas debilidades observadas y que son oportunidades de mejora para los laboratorios son:

- a) Que la información de los sistemas de medición sea completa y oportuna;
- b) Que la información proporcionada en la toma de lecturas sea completa, siguiendo para tal efecto el protocolo de medición;
- c) Determinar de forma adecuada la resolución del instrumento de medición;
- d) Realizar las correcciones pertinentes de deflexión por carga cero;
- e) Incluir en la estimación de la incertidumbre, la mejor capacidad de medición (MCM) del laboratorio tal como fue declarada por el laboratorio.
- f) Seguir de forma estricta los lineamientos generales de medición, así como el protocolo de medición;
- g) Otras menores comentadas al laboratorio participante.

El CENAM tomó una medición inicial, una medición intermedia y una medición final del patrón itinerante.

La gráfica de la Figura 7 se muestra las diferentes calibraciones realizadas al patrón durante las mediciones que iniciaron en septiembre del 2005 y terminaron en diciembre del 2005. En esa figura 7, se muestra la desviación relativa de cada medición del patrón itinerante respecto al promedio de las tres mediciones realizadas. Se incluye en esta gráfica la incertidumbre relativa con $k=2$ para cada medición realizada. La contribución de la incertidumbre debido a la dispersión de las lecturas o estabilidad de las calibraciones realizadas [3] fue determinada como la desviación estándar relativa de las tres mediciones como se observa en la ecuación 1).

$$u_{estabilidad} = \frac{S_{calibraciones}}{\sqrt{3}} \quad 1)$$

Donde:

$u_{estabilidad}$ incertidumbre estándar de la calibración del patrón itinerante;
 $S_{calibraciones}$ es la desviación estándar de las calibraciones realizadas.

Como se puede observar de la gráfica de la figura 7, la exactitud del patrón itinerante (error más incertidumbre) en cualquiera de los casos esta dentro de los límites establecidos o características del mismo, de acuerdo a lo establecido en el punto 2.2.

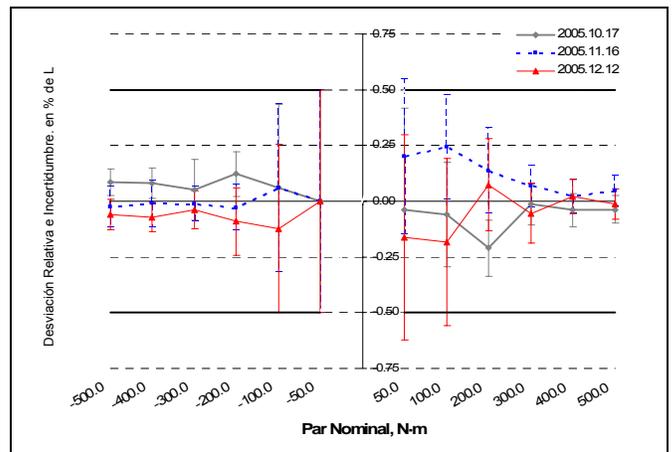


Figura 7. Gráfica de desviación relativa respecto al valor nominal de la medición inicial, intermedia y final del patrón itinerante.

4. CONCLUSIONES

En este ejercicio de Ensayo de Aptitud, participaron 10 laboratorios del Sistema Nacional de Calibración (SNC). El instrumento patrón itinerante utilizado fue un transductor de referencia del tipo "torquímetro digital" que puede ser clasificado de conformidad con la norma ISO-6789:2003 [4] como Tipo I, clase C. Este instrumento utilizado como patrón itinerante fue calibrado en CENAM 3 veces, mostrando una incertidumbre relativa máxima de 0,5% ($k=2$). El patrón fue medido en CENAM 3 veces para verificar el comportamiento y la estabilidad del mismo en la ronda de mediciones. La incertidumbre relativa máxima debido a la estabilidad en el patrón itinerante dentro del alcance de medición fue calculada con valores

menores a $1,5 \cdot 10^{-3}$ de acuerdo con la ecuación 1). En el análisis de los resultados para cada laboratorio, la incertidumbre debida a la dispersión o estabilidad fue integrada a la incertidumbre de la calibración del patrón de cada laboratorio. Lo anterior implica que no existen diferencias significativas durante el tiempo de duración de este ejercicio de ensayo aptitud.

De acuerdo con los resultados mostrados por los laboratorios, se observó homogeneidad entre resultados de los mismos en el alcance de medición de 50 N·m a 500 N·m en un 83% de los laboratorios participantes. El grado de conformidad entre las mediciones de los laboratorios se establece como $e_n \leq 1$, prácticamente en la mayoría de las mediciones realizadas por los laboratorios.

Las gráficas de error normalizado se utilizaron para mostrar la compatibilidad de las mediciones entre los diferentes laboratorios. Sin embargo, se deben verificar los resultados de algunos laboratorios con el objetivo de mejorar y reducir la dispersión de las mediciones para evolucionar en la mejora continua de la calidad de las mediciones.

Se recomienda en futuros ejercicios de ensayos de aptitud, ampliar los alcances de medición, es decir en intervalos de medición menores a 100 N·m, o bien mayores a 500 N·m.

REFERENCIAS

- [1] Ramírez D., Torres J., Galván J., "Lineamientos para el Ensayo de Aptitud No. CENAM-EA-720/PT.01 en la Magnitud Par Torsional en el Alcance de Medición de 50 N·m a 500 N·m".
- [2] Ramírez Ahedo D., Peschel D., Subias Juárez J. F., Torres Guzmán J.C., "Sistema de Referencia para la Medición de Par Torsional de Bajo Alcance (0,1 N·m a 10 N·m)". Simposio de Metrología 2004. Querétaro, México. Octubre 2004.
- [3] Torres-Guzman J. C., Sawla A., Ramirez Ahedo D. A., "Force Standards Comparison between PTB (Germany) and CENAM (Mexico)", Joint International Conference on Force, Mass, Torque, Hardness and Civil Engineering Metrology, IMEKO TC3/TC5/TC20, Celle, Germany. September 2002.
- [4] ISO 6789:2003. Assembly tools for screw and nuts - Hand torque tools - Requirements and test methods.