

Nuevas capacidades en par torsional en Panamá

Mitre, Kevin

Centro Nacional de Metrología de Panamá AIP (CENAMEP AIP)
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: 0009-0000-6969-3376

Solís, Chrismery

Centro Nacional de Metrología de Panamá AIP (CENAMEP AIP)
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: [0009-0004-2592-2631](https://orcid.org/0009-0004-2592-2631)

Gracia, Dimas

Centro Nacional de Metrología de Panamá AIP (CENAMEP AIP)
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: [0009-0006-0929-9645](https://orcid.org/0009-0006-0929-9645)

Saavedra, Victoria

Centro Nacional de Metrología de Panamá AIP (CENAMEP AIP)
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: [0009-0007-2484-8099](https://orcid.org/0009-0007-2484-8099)

Kuruc, José

Centro Nacional de Metrología de Panamá AIP (CENAMEP AIP)
Ciudad de Panamá, Panamá
ORCID: [0000-0001-5038-7766](https://orcid.org/0000-0001-5038-7766)

Abstract

CENAMEP AIP has developed calibration capabilities up to 1000 Nm with relative uncertainties below 0.1%, strengthening national metrological traceability. This study validates the torsional torque calibration method through comparison with CENAM, evaluating relative errors, reproducibility, and interpolation curve fitting. Eight nominal points (20–1000 Nm) were measured by five metrologists and compared with CENAM using the normalized error (EN) acceptable if $|EN| \leq 1$. Results show high consistency with CENAM and minimal dispersion among metrologists ($<0.6\%$), confirming the procedure's robustness and reproducibility. Uncertainties as low as 0.06% were achieved, exceeding commercial torque tool limits. These findings demonstrate accuracy, consistency, and

international traceability, reinforcing the laboratory's reliability and the competitiveness of the national industry.

Keywords: metrological traceability, normalized error, reproducibility, torque, uncertainty.

Resumen

El CENAMEP AIP ha desarrollado capacidades de calibración hasta 1000 Nm con incertidumbres relativas menores al 0.1%, fortaleciendo la trazabilidad metrológica nacional. Este estudio valida el método de calibración de bancadas de par torsional mediante comparación con el Centro Nacional de Metrología de México (CENAM), evaluando errores relativos, reproducibilidad y ajuste de curvas de interpolación. Ocho puntos nominales (20–1000 Nm) fueron medidos por cinco metrologos y comparados con CENAM mediante el error normalizado (EN), considerado aceptable si $|EN| \leq 1$. Los resultados muestran alta consistencia con el CENAM y dispersión mínima entre metrologos (<0.6%), confirmando la robustez y reproducibilidad del procedimiento. Se alcanzan incertidumbres de hasta 0.06%, superando límites de herramientas comerciales. Estos resultados evidencian exactitud, consistencia y reproducibilidad del método, reforzando la confiabilidad del laboratorio y la competitividad de la industria nacional.

Palabras claves: error normalizado, incertidumbre, par torsional, reproducibilidad, trazabilidad metrológica.

1. INTRODUCCIÓN

El par torsional es una magnitud física que describe la tendencia de una fuerza a generar un movimiento de rotación [1]. Su medición exacta resulta fundamental para garantizar la confiabilidad y seguridad en sectores como la industria naval, aeronáutica, ferroviaria y metalmeccánica, donde el control del par aplicado es determinante para el desempeño de los sistemas mecánicos.

En Panamá, el Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP) ha desarrollado capacidades de calibración en la magnitud par torsional hasta 1000 Nm, con incertidumbres relativas por debajo del 0.1%. Estas capacidades consolidan la trazabilidad metrológica a nivel nacional y favorecen la competitividad del sector industrial. Dichas capacidades se alinean con los requisitos de competencia establecidos en la norma ISO/IEC 17025:2017, así como con las recomendaciones del documento DKD-R 10-8:2020, que define los procedimientos para la calibración estática de dispositivos de par [1][2].

Este trabajo aborda la validación del método de calibración de bancadas de par torsional implementado en el CENAMEP AIP. Además, se analiza la reproducibilidad del procedimiento al ser ejecutado por distintos metrólogos y se examina la selección de la curva de ajuste más adecuada para representar la respuesta del sistema de calibración. Con ello se busca garantizar la exactitud y consistencia de las mediciones dentro del laboratorio y frente a referencias internacionales.

2. MÉTODO

Esta investigación se llevó a cabo con la bancada de par torsional existente en el laboratorio de torque del CENAMEP AIP, con capacidad hasta 1000 Nm. El procedimiento incluyó:

A. Calibración de la bancada de par torsional realizada por el CENAM:

Se contrató un servicio de calibración para la bancada de par hasta los 1000 Nm, máxima capacidad habilitada actualmente por el laboratorio. El CENAM fue el proveedor de servicios. El CENAM cuenta con capacidades de medición y calibración (CMC) publicada en la base de datos del Buró Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) [3]. Los resultados obtenidos por el CENAM se utilizaron como referencia para la validación del método implementado por el CENAMEP AIP, dado que el CENAM al tener CMC en Par Torsional, es un indicativo que su método ha aprobado el reconocimiento mundial a sus capacidades de medición.

B. Calibración de la bancada de par torsional por el CENAMEP AIP:

Se midieron ocho puntos nominales (20 a 1000 Nm) [1] ejecutados por cinco metrólogos (JK, DG, KM, VS y ChS), registrando el error relativo de indicación (f_q) [4] y la incertidumbre expandida (U) [4] como insumo para el análisis de la comparación.

C. Análisis de los datos:

Los resultados de cada metrólogo se compararon con los resultados obtenidos por el CENAM mediante el cálculo del error normalizado (EN), definido como:

$$EN = \frac{(f_{q_{CENAMEP}} - f_{q_{CENAM}})}{\sqrt{U_{CENAMEP}^2 + U_{CENAM}^2}}$$

D. Reproducibilidad:

Se evaluó la dispersión entre los cinco metrólogos para cada valor nominal, analizando diferencias internas y frente a CENAM.

3. RESULTADOS

A. Comparación de errores de indicación:

La gráfica y tabla de errores relativos frente a los valores nominales (figura 1 y tabla 1) muestra que los cinco metrólogos presentan resultados consistentes con los reportados por CENAM en todo el rango de 20 Nm –1000 Nm. Se observan ligeras desviaciones en los rangos más bajos (20 Nm), atribuibles a efectos de resolución, características del sistema de medición y ruido mecánico por la rapidez de aplicación de carga. Esto evidencia que el método desarrollado por CENAMEP AIP proporciona mediciones exactas en todo el intervalo evaluado.

B. Reproducibilidad entre metrólogos:

La dispersión de los errores relativos (figura 1 y tabla 1) se observa que las diferencias entre los errores relativos (fq %) obtenidos por los cinco metrólogos son muy pequeñas. Para cada punto de calibración, la diferencia máxima entre el valor más alto y el más bajo de error relativo es menor a 0.58 %. Los valores centrales se concentran alrededor del promedio. Esto demuestra que el procedimiento de calibración es robusto y reproducible independientemente del operador.

Tabla 1. Comparación de errores de indicación e incertidumbre expandida.

| Val_Nom (Nm) | fq (%) CENAM | U (%) CENAM | fq (%) JK | U (%) JK | fq (%) DG | U (%) DG | fq (%) KM | U (%) KM | fq (%) VS | U (%) VS | fq (%) ChS | U (%) ChS |
|--------------|--------------|-------------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|------------|-----------|
| 20 | -0.22 | 0.93 | -0.54 | 0.62 | -0.58 | 1.26 | -0.28 | 1.14 | -0.11 | 0.46 | -0.25 | 0.74 |
| 50 | -0.14 | 0.36 | -0.62 | 0.73 | -0.51 | 0.69 | -0.16 | 0.26 | -0.04 | 0.23 | -0.17 | 0.36 |
| 100 | -0.1 | 0.14 | -0.44 | 0.7 | -0.31 | 0.42 | -0.12 | 0.12 | -0.07 | 0.14 | -0.11 | 0.15 |
| 200 | -0.11 | 0.09 | -0.28 | 0.46 | -0.15 | 0.20 | -0.08 | 0.09 | -0.06 | 0.1 | -0.09 | 0.11 |
| 400 | -0.08 | 0.07 | -0.21 | 0.33 | -0.08 | 0.12 | -0.06 | 0.08 | -0.07 | 0.08 | -0.08 | 0.08 |
| 600 | -0.07 | 0.07 | -0.19 | 0.27 | -0.05 | 0.12 | -0.08 | 0.07 | -0.07 | 0.07 | -0.08 | 0.08 |
| 800 | -0.05 | 0.06 | -0.18 | 0.24 | -0.06 | 0.11 | -0.09 | 0.08 | -0.09 | 0.07 | -0.09 | 0.07 |
| 1000 | -0.04 | 0.06 | -0.18 | 0.21 | -0.08 | 0.11 | -0.1 | 0.07 | -0.1 | 0.07 | -0.11 | 0.07 |

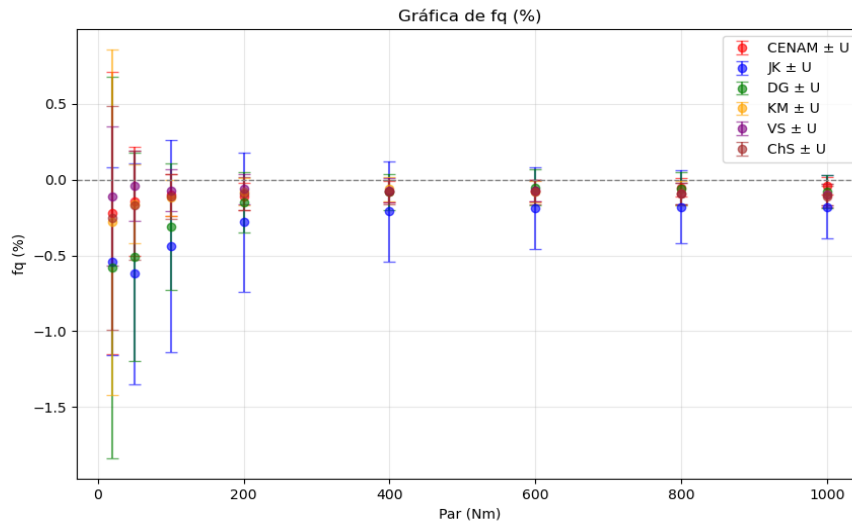


Figura 1. Comparación de errores de indicación y reproducibilidad entre metrologos

C. Errores normalizados:

Los valores de EN calculados entre cada metrologo (figura 2 y tabla 2) y el CENAM se mantienen sustancialmente por debajo del rango ± 1 , cumpliendo con el criterio de aceptación para comparaciones inter-laboratorio. En los valores bajos de par (20–50 Nm) se aprecia que ciertos metrologos alcanzaron una mejor consistencia estadística en algunos valores respecto al CENAM. Esto está directamente asociado a la técnica de medición, mientras que en los valores altos (600–1000 Nm) los resultados se concentran cerca de cero. Esto confirma la trazabilidad internacional del método y la alta consistencia del laboratorio de par torsional del CENAMEP AIP.

Tabla 2. Valores de EN por metrologo en comparación con el CENAM.

| Val_Nom (Nm) | EN JK-CENAM | EN DG-CENAM | EN KM-CENAM | EN VS-CENAM | EN ChS-CE-NAM |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 20 | -0.29 | -0.23 | -0.04 | 0.11 | -0.02 |
| 50 | -0.59 | -0.48 | -0.05 | 0.23 | -0.06 |
| 100 | -0.48 | -0.47 | -0.11 | 0.15 | -0.06 |
| 200 | -0.36 | -0.20 | 0.24 | 0.37 | 0.16 |
| 400 | -0.39 | -0.01 | 0.19 | 0.10 | 0.02 |
| 600 | -0.43 | 0.13 | -0.10 | 0.00 | -0.08 |
| 800 | -0.53 | -0.08 | -0.40 | -0.43 | -0.42 |
| 1000 | -0.64 | -0.28 | -0.65 | -0.65 | -0.69 |

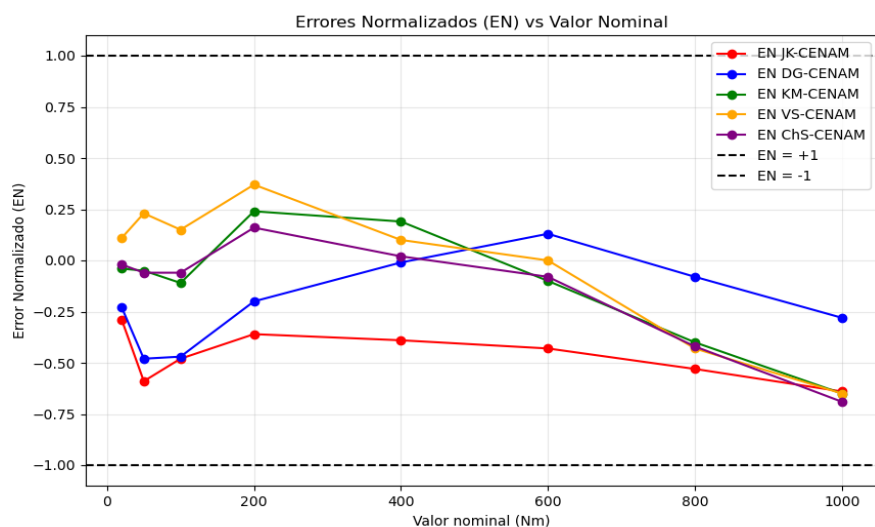


Figura 2. Distribución de los valores EN por metrólogo respecto al CENAM

D. Aseguramiento de la validez de los resultados:

El laboratorio del CENAMEP AIP asegura la validez de sus mediciones mediante la implementación de patrones trazables para garantizar la comparabilidad de las mediciones con pares internacionales, específicamente con el CENAM [2]. La reproducibilidad se aseguró mediante la participación de cinco metrólogos, con el fin de minimizar las variaciones en la ejecución del método de medición. Además, se aplicaron criterios de aceptación estrictos, utilizando el error normalizado como métrica para evaluar la compatibilidad con un par de referencia internacional.

E. Selección de la mejor curva de ajuste:

Para determinar la curva óptima de calibración de las bancadas de par, se compararon modelos lineales y cúbicos sobre los datos experimentales. El ajuste se evaluó considerando tanto las dispersiones como su impacto en las incertidumbres de medición. Tras este análisis, la curva cúbica fue seleccionada como el modelo que mejor describe la exactitud del conjunto de datos, asegurando mediciones de par precisas y confiables en la bancada del CENAMEP AIP.

4. CONCLUSIONES

El método de calibración de bancadas de par torsional desarrollado por el CENAMEP AIP ha sido validado mediante una comparación con el CENAM, demostrando compatibilidad metrológica con errores normalizados dentro de los criterios de aceptación. Las mediciones

realizadas por cinco metrólogos muestran una alta reproducibilidad, con variaciones máximas menores al 0.6% en todo el rango, lo que evidencia que el procedimiento es robusto y confiable. La mejor incertidumbre alcanzada por el laboratorio es de hasta 0.06% en el rango de 0.2 Nm a 1000 Nm, superando ampliamente los límites máximos permisibles de las herramientas de par torsional comerciales, dispositivos que se calibran en bancadas como estas. En conjunto, estas evidencias confirman que el CENAMEP AIP asegura la validez, exactitud y trazabilidad de sus mediciones de par torsional, cumpliendo estándares internacionales y mejorando la confiabilidad de la industria nacional.

Referencias

- [1] DKD-R 10-8: 2020. Static Calibration of Calibration devices for Torque Wrenches.
- [2] ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
- [3] “Search published CMCs, Results for: torque, Mexico”, BIPM Key Comparison Database (KCDB), [Online]. Available: <https://www.bipm.org/kcdb/cmc/quicksearch?includedFilters=cmcBranches&excludedFilters=&page=0&keywords=torque%2C+mexico> [Accessed: 14-Nov-2025].
- [4] Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement. JCGM 100:2008.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

Ni APANAC XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.