

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN
SISTEMA DE MEDICIÓN DE PAR TORSIONAL EN CENAM (MÉXICO)

Daniel Ramírez Ahedo, Jorge C. Torres Guzmán
Centro Nacional de Metrología (CENAM)
km 4,5 Carretera a los Cués, Querétaro, México

Diedert Peschel
Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB)
Bundesalle 100, Braunschweig, Alemania

RESUMEN

En el Centro Nacional de Metrología (CENAM, México), la cuantificación de la magnitud de par torsional como una magnitud derivada de las magnitudes de fuerza y dimensional es una tarea asignada al laboratorio de "Par torsional" de la División de Fuerza y Presión. El laboratorio de "Par torsional" se ha dado a la tarea de cuantificar y diseminar correctamente la magnitud de par torsional con los más altos niveles de confiabilidad. La diseminación de esta magnitud con la adecuada tecnología de medición y compatible con la de otros países permitirá hacer frente a los problemas de calibración y certificación de par torsional que han surgido en el mercado industrial nacional.

Así pues, el propósito del presente trabajo es dar a conocer los avances que en este campo se han logrado en CENAM con la cooperación y asesoría del Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB). Aquí se presenta un resumen del equipo implantado para la cuantificación de esta magnitud, una breve descripción y criterios del equipo seleccionado, los servicios de calibración que se pretenden dar, así como un planteamiento para que este sistema de medición pueda funcionar como un sistema de transferencia o bien como un patrón nacional de medición de par torsional mediante masas suspendidas con la adecuada incertidumbre asociada al sistema.

1. OBJETIVO Y ALCANCE

1.1 Objetivo

Presentar como se estableció en CENAM el laboratorio de medición de par lo cual permitirá mejorar los servicios de calibración, con la incertidumbre adecuada a los requerimientos y necesidades de la industria mexicana.

1.2 Alcance

En este artículo se presenta la demanda nacional de México en materia de par torsional, así mismo se incluye la solución que el CENAM a implantado para subsanar está demanda y asegurar la trazabilidad de las mediciones a un patrón primario nacional en México.

2. NECESIDADES DEL SISTEMA PRIMARIO DE MEDICIÓN DE PAR TORSIONAL EN CENAM

2.1 Necesidad de un sistema primario de par torsional

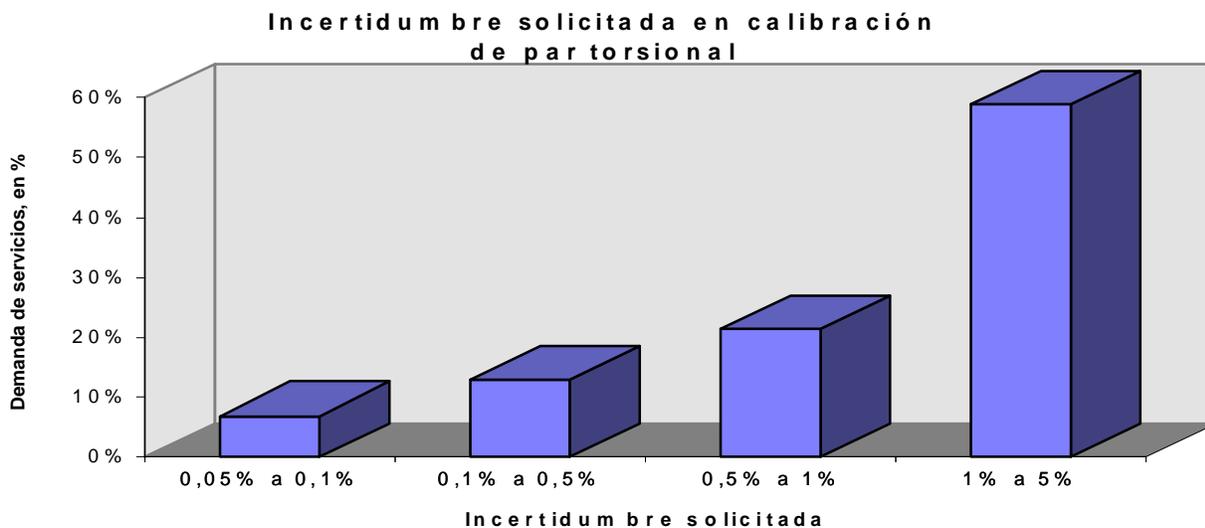
Una de las tareas principales en CENAM es la diseminación de las magnitudes así como el de generar patrones para la correcta medición de las mismas. En la división de Fuerza y Presión la realización de la unidad de *par torsional* es una tarea asignada a la especialidad de fuerza debido a que esta es derivada de la fuerza aplicada mediante un brazo de palanca. La demanda de servicios para calibración de herramientas y transductores de medición de par torsional se ha incrementado de manera considerable desde que el CENAM inició sus servicios de calibración. Sin embargo, en México no existe una diseminación sólida de la unidad de par torsional ya que no existe una trazabilidad hacia un patrón primario. Algunas de las industrias que requieren de este servicio tienen que mandar sus equipos a calibrar en el extranjero lo cual les resulta muy costoso.

2.2 Necesidades de la industria mexicana

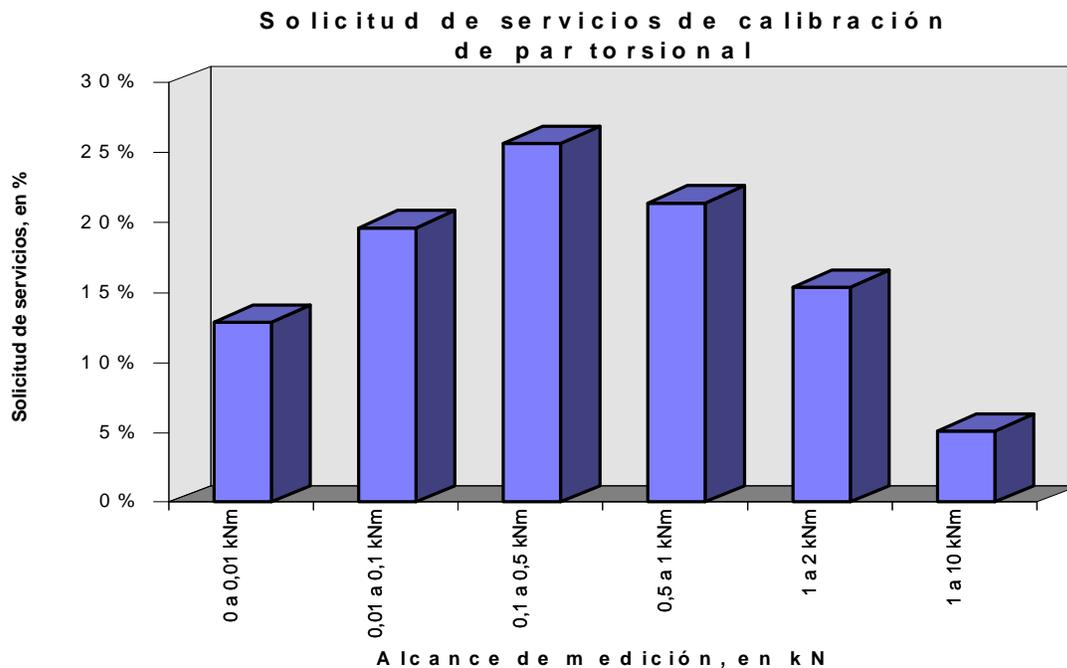
En las gráficas 2.1 y 2.2 se presenta la demanda nacional de calibración de instrumentos y equipo medición de par torsional. En la tabla 2.1 se incluyen los tipos de instrumentos y equipos que requieren trazabilidad en México en esta magnitud.

Descripción	Incertidumbre aproximada
Herramientas de medición de par torsional	$\pm 0,5\%$ a $\pm 3\%$
Torquímetros tipo "click"	$\pm 1\%$ a $\pm 5\%$
Transductores de medición de par torsional	$\pm 0,05\%$ a $0,5\%$
Torquímetros de indicación digital utilizados como patrón de transferencia.	$\pm 0,25$ a $\pm 1\%$

Tabla 2.1. Equipos que requieren ser calibrados en México.



Gráfica 2.1. Incertidumbre solicitada en la calibración de equipos de medición de par torsional.



Gráfica 2.2. Demanda de servicios de calibración de equipos de medición de par torsional.

3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE PAR TORSIONAL

3.1 Descripción general de un sistema de medición de par torsional

En forma general, el mejor método para la generación del par torsional es basado en el principio de la aplicación del peso de masas bien conocidas que actúan en el extremo final de un brazo de palanca de una determinada longitud, el cual es apoyado en el otro extremo produciendo un momento torsionante puro lo cual es conocido como par torsional, esto es:

$$\text{Momento torsionante} = \text{Fuerza} \times \text{distancia} \quad [\text{Nm}]$$

Cuando la magnitud de este momento torsionante es aplicado a un dispositivo de medición de par torsional, el par que actúa en este dispositivo es medido por la deformación elástica de un cuerpo elástico o de una medida proporcional a ella. La siguiente figura ilustra este método.

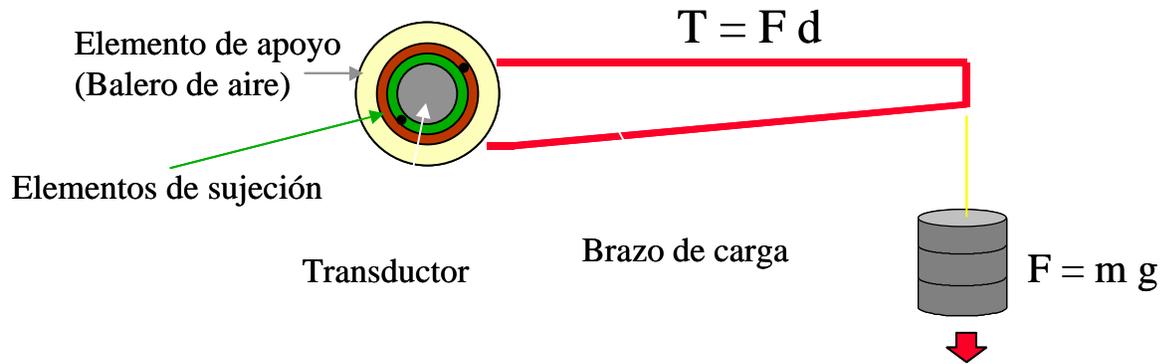


Figura 3.1. Máquina de par torsional de masas suspendidas y brazo de palanca

3.2 Tipos de sistemas para calibración

Existen varios sistemas para la calibración de dispositivos elásticos de medición de par torsional, pero en general el principio puede ser dividido en dos categorías:

- i. Calibración de dispositivos de par mediante masas suspendidas y brazo de palanca (3.1) y
- ii. Calibración de dispositivos de medición de par mediante sistema de transferencia, es decir por comparación del par torsional aplicado a un transductor patrón previamente caracterizado con los niveles de incertidumbre apropiados y el dispositivo de medición de par bajo prueba (en forma general la relación de incertidumbre deberá ser al menos de $U_{\text{patrón}} < 4 U_{\text{prueba}}$).

El funcionamiento general del primer sistema fue descrito en 3.1, y consta de un sistema de masas que actúan en el extremo final del brazo de palanca. Este sistema de calibración es en general el de más alta exactitud, sin embargo su costo es bastante elevado cuando se quiere tener una incertidumbre baja. Por ejemplo, para alcanzar una incertidumbre de aproximadamente 30 p.p.m., se tienen que tomar en cuenta varios factores entre los cuales está, un sistema de masas de clase F, balero de aire (para reducir la fricción en el elemento de apoyo), balero de alineamiento del transductor (cuando se le aplica una carga), brazo de palanca (con una incertidumbre de $\pm 1 \mu\text{m}$ en longitud), sistema de alineación en el brazo de palanca (máxima deformación $\leq 1 \text{ mm}$ y ángulo de desviación respecto a la horizontal $\leq 1^\circ$), como factores principales.

En el caso del segundo sistema, el par torsional es aplicado directamente al transductor bajo prueba mediante un acoplamiento directo entre el patrón de transferencia (transductor de par previamente caracterizado) y el dispositivo de calibración bajo prueba. La incertidumbre que se puede alcanzar con este tipo de sistemas depende del transductor patrón (típicamente es de 200 p.p.m.). Las siguientes figuras ilustran este tipo de sistemas.

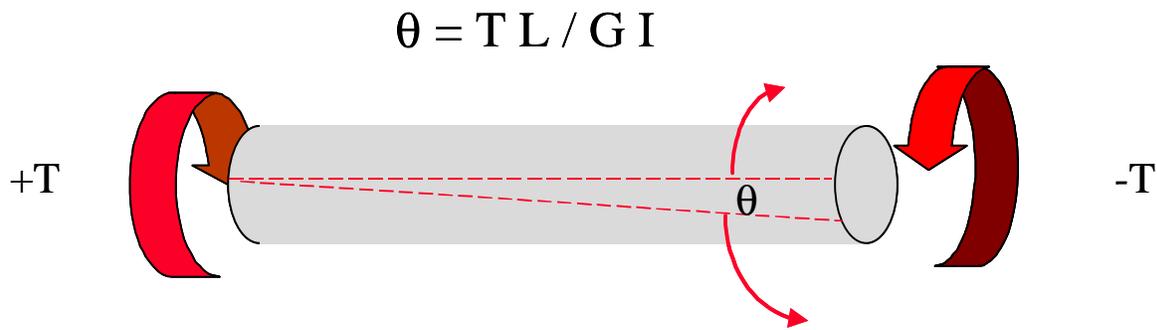


Figura 3.2. Sistemas de transferencia para medición de par torsional

3.3 Sistema de calibración diseñado

El sistema implantado en CENAM para la calibración de dispositivos de medición de par torsional, es el de transferencia y los criterios que se siguieron para la selección del mismo son referidos a las necesidades de servicio, básicamente a los alcances de calibración e incertidumbres requeridas, así como a la información obtenida de catálogos de fabricantes los cuales se mencionan a continuación:

- i) Alcance de calibración de 10 a 1 500 Nm, ver gráfica de requerimientos de calibración;
- ii) Alcance de la incertidumbre requerida de 0,5% a 5%;
- iii) Calibración de herramientas de medición de par (torquímetros);
- iv) Calibración de transductores de par;
- v) Longitud máxima del transductor de par de 440 mm;
- vi) Longitud mínima de una herramienta de par 40 mm (torquímetro tipo conductor);
- vii) Longitud máxima de una herramienta de par 850 mm (torquímetro con brazo de palanca).

El sistema que se diseñó para la calibración de tales dispositivos tiene las siguientes características, de acuerdo a las necesidades requeridas:

- i) Intervalo de calibración de 1 Nm hasta un máximo de 2 kNm;
- ii) Posibilidad de calibración herramientas de medición de par del tipo torquímetros, así como de transductores de par; con diferentes longitudes (hasta 1 000 mm transductor de par y brazo de palanca en el caso de torquímetros);
- iii) Posibilidad de comparación entre transductores patrón;
- iv) Posibilidad de que el sistema de calibración funcione a futuro como un patrón primario debido al uso de balero de aire, al cual se le puede adaptar el brazo de palanca, un sistema de nivelación y un sistema de masas.

3.4 Descripción general del sistema de medición de par torsional

El sistema diseñado se muestra esquemáticamente en la figura 3.3 y la descripción de las partes principales se hace a continuación.

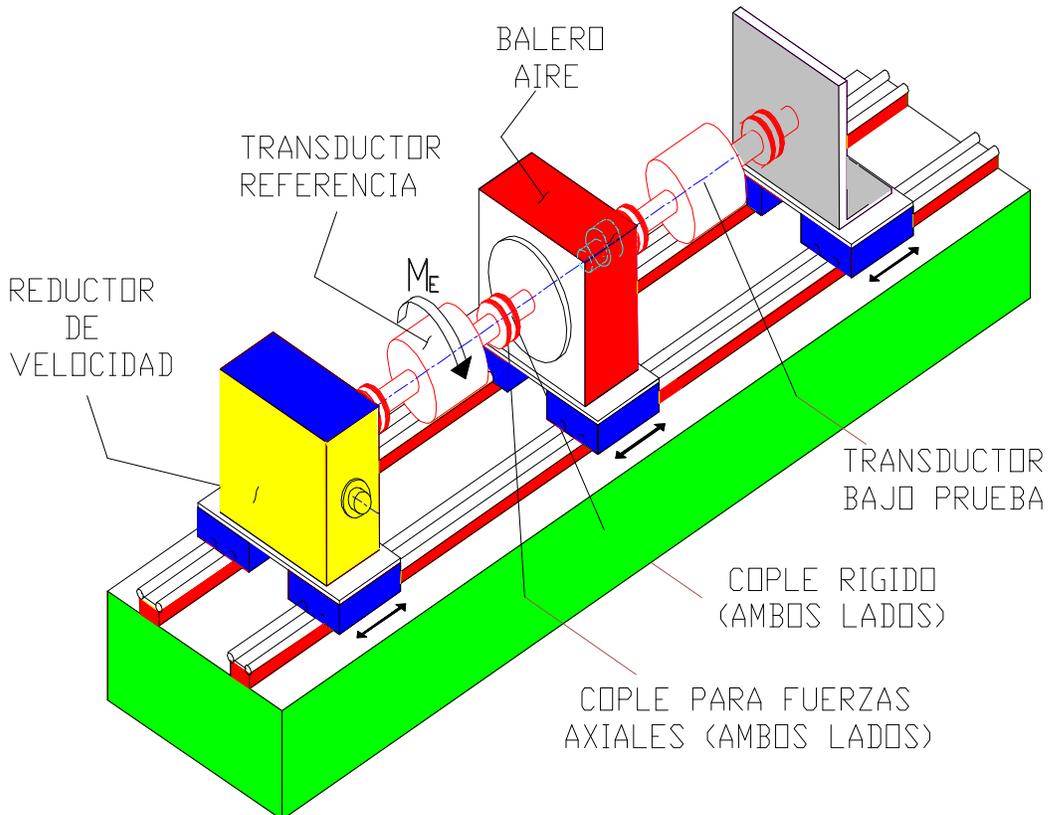


Figura 3.3. Descripción del sistema de transferencia de par hasta 2,5 kNm.

La transmisión de par se realiza por medio de un reductor de velocidad. El sistema de transmisión tiene la posibilidad de ser auto-retardable, es decir que el paro sea inmediato y además no existe la posibilidad de giro en sentido contrario en el momento del paro, esto ayuda a tener lecturas confiables. Además es posible la aplicación de par torsional en ambos sentidos (calibración derecha e izquierda) debido a que la transmisión al reductor se realiza por medio de un motor de velocidad variable en ambos sentidos.

La transferencia hacia el equipo bajo prueba se realiza por medio de un transductor patrón con una incertidumbre menor o igual a 200 p.p.m. Intermedio entre el transductor patrón y el equipo bajo prueba se encuentra un balero de aire (la estabilidad del sistema es un factor importante) esto con el fin de no tener una interacción directa entre ambos dispositivos de medición que pueda generar algún tipo de componente no deseada. El contar con un balero de aire proporciona la posibilidad de tener un sistema primario de par torsional, debido a que solamente será necesario adaptar un brazo de palanca, instalar algún sistema mecánico de alineamiento de tres grados de libertad, y las masas para la generación de la fuerza.

El sistema de transferencia cuenta con la posibilidad de calibración de torquímetros de palanca de longitud hasta 1 m, así como para torquímetros tipo conductores y transductores de par en todos los intervalos de longitud.

Por otro lado, en cualquier sistema de medición siempre existen componentes no deseadas, en el caso de par torsional estas componentes (momentos flexionantes, fuerzas axiales, fuerzas transversales) generan influencia nociva en los resultados de la medición, por lo tanto se utiliza un sistema de acoples rígidos además de un sistema de acoples flexibles, con el fin de reducir tales componentes (referencia 3).

4. COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES

El laboratorio de par torsional dará servicio de calibración a equipo e instrumentos de medición de par torsional (comúnmente llamados torquímetros), transductores de par, máquinas de medición de par torsional, así como evaluación y certificación de laboratorios secundarios.

El alcance del laboratorio es de 1 Nm hasta 2 kNm mediante un sistema de transferencia por comparación con transductores patrón de referencia de incertidumbre $0,025 \% \leq U_{95,45} \leq 0,03\%$.

La instalación del sistema diseñado permitirá subsanar la necesidad de la demanda nacional en México y prever la demanda futura de acuerdo al crecimiento de la industria.

5. BIBLIOGRAFÍA

- {1} Peschel, D., Mauersberger D., Determination of the friction of aerostatic radial bearing for the lever-mass system of torque standard machines. (PTB-Mitteilungen).
- {2} Röske, D., A multicomponent force and moment transducer for use in a 20 kNm torque standard machine. (PTB-Mitteilungen).
- {3} Peschel, D., Mechanical parasitic components and their influence on the calibration of torque transducer. 13th International conference on Force and mass measurement, Helsinki (Finland), 10-14 Mayo 1993.