

Figura 1. El Par torsional “torque” ejercido sobre un tornillo es igual a la fuerza aplicada por la distancia *d* a la que se aplica.

La magnitud de este par torsional es calculado como el producto vectorial de la fuerza por una distancia:

$$T = F \cdot d \quad \{1\}$$

$$\text{Par torsional} = \text{Fuerza} \cdot \text{distancia} \quad [\text{Nm}]$$

De acuerdo al sistema internacional de unidades la unidad del par torsional es el **newton metro** y su símbolo es **Nm**, el cual es derivado de las magnitudes fundamentales longitud masa y tiempo (L, M y T), es decir  $1 \text{ Nm} = 1 \text{ kg m}^2 / \text{s}^2$ .

## MEDICIÓN DE PAR TORSIONAL

Existen varias formas de determinar la magnitud de par torsional dependiendo del tipo de mediciones que se realicen, las cuales pueden ser dinámicas o estáticas. El par dinámico es la determinación de la magnitud de respuesta de par torsional de un instrumento como función de la frecuencia  $f > 0 \text{ Hz}$ , mientras que por el contrario el par estático es la determinación de tal respuesta siempre que  $f = 0 \text{ Hz}$ .

Un sistema primario para la cuantificación de cualquier magnitud es aquel cuyo valor es aceptado sin referirse a otros patrones de la misma magnitud. Así pues, un sistema primario para la medición del par torsional es el basado en la definición propia de la magnitud, tal como se presenta en la siguiente figura:

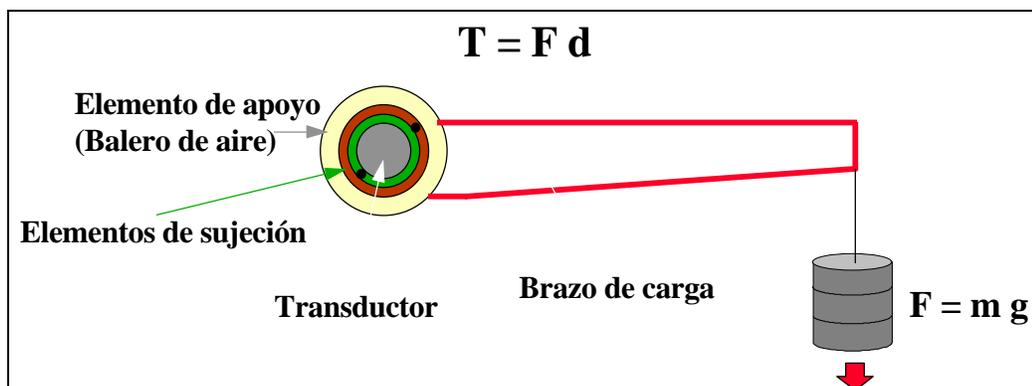


Figura 2. Sistema primario para la medición de par torsional.

En la figura anterior, podemos observar que el elemento de apoyo es para cuantificar correctamente la magnitud, eliminando la carga perpendicular al eje y el momento flexionante ocasionados por la carga de las pesas apoyadas directamente sobre el transductor. Además, es necesario evaluar las variables de influencia, tales como la fricción del elemento de apoyo y el empuje del aire sobre las masas; con lo que la expresión para el cálculo de par torsional {1} se tendrá que modificar para realizar las correcciones mencionadas de acuerdo a la siguiente expresión:

$$T = \left\{ m \cdot g_{local} \left[ 1 - \frac{\rho_{aire}}{\rho_{masa}} \right] \cdot d \right\} - T_f \quad \{2\}$$

donde:

- $T$  es el par torsional aplicado, en  $\text{Nm} = \text{kg m}^2/\text{s}^2$
- $T_f$  es el par de fricción en el elemento de apoyo, en  $\text{Nm}$
- $m$  es la masa aplicada en  $\text{kg}$
- $g_{local}$  es la aceleración local de la gravedad, en  $\text{m}/\text{s}^2$
- $\rho_{aire}$  es la densidad de las masas en el aire, en  $\text{kg}/\text{m}^3$
- $\rho_{masa}$  es la densidad de las masas en  $\text{kg}/\text{m}^3$
- $d$  es la distancia del brazo de palanca, en  $\text{m}$

Este sistema de medición puede ser el de más alta exactitud, sin embargo el costo del mismo es bastante elevado, si se quiere tener una incertidumbre relativamente baja. Por ejemplo, para alcanzar una incertidumbre de aproximadamente  $\pm 0,01\%$ , se tendría que tomar en cuenta que la clase de exactitud de las masas deberá ser F1, también, necesariamente deberá utilizarse un cojinete de apoyo para el transductor cuando se le aplica la carga, la longitud del brazo de palanca deberá tener una incertidumbre máxima de  $\pm 50 \mu\text{m}$ , y el patrón deberá contar con un sistema de alineación en el brazo de palanca (máxima deformación  $\leq 1 \text{ mm}$  y ángulo de desviación respecto a la horizontal  $\leq 1^\circ$ ), entre otros factores.

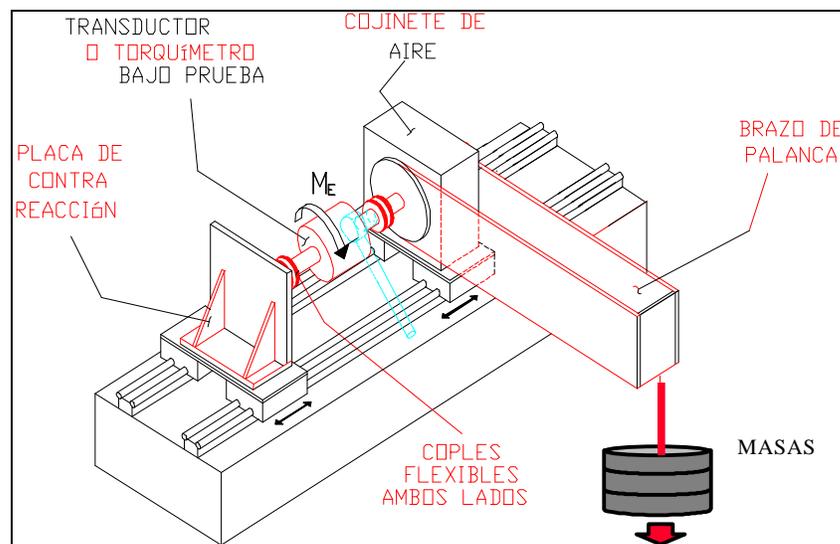


Figura 3. Aplicación del par torsional mediante un sistema primario de masas suspendidas a un transductor por calibrar.

### Determinación de la gravedad local

Para utilizar la ecuación {2}, la gravedad local puede determinarse mediante la siguiente expresión, la que se obtiene con una incertidumbre asociada de  $\pm 0,012\%$  (120 ppm) para un factor de cobertura  $k = 2$ .

$$g_{local} = G \cdot (1 + b1 \cdot \text{sen}^2 \mathcal{A} - b2 \cdot \text{sen}^2 2\mathcal{A}) - 3,086 \cdot 10^{-6} \cdot H \quad \{3\}$$

donde:

- $g_{local}$  = aceleración local de la gravedad en  $\text{m/s}^2$
- $\mathcal{A}$  = latitud en grados
- $H$  = altitud del lugar, altura sobre el nivel del mar en  $\text{m}$
- $G$  = 9,780 318 4  $\text{m/s}^2$  aceleración de la gravedad en el Ecuador
- $b1$  = 0,005 302 4
- $b2$  = 0,000 005 8

Boletín OIML - N° 121 y 127

### Medición mediante un sistema secundario (estático)

Cuando la magnitud de par torsional es aplicada a un cuerpo elástico (figura 4) utilizando el método primario, el par que actúa en este dispositivo puede ser medido mediante la deformación elástica del cuerpo o por una medida proporcional a ella. Un instrumento cuyo valor es establecido por comparación con un sistema primario de la misma magnitud, es conocido como un patrón de medición de par torsional secundario, un esquema del comportamiento elástico en torsión se muestra en la siguiente figura.

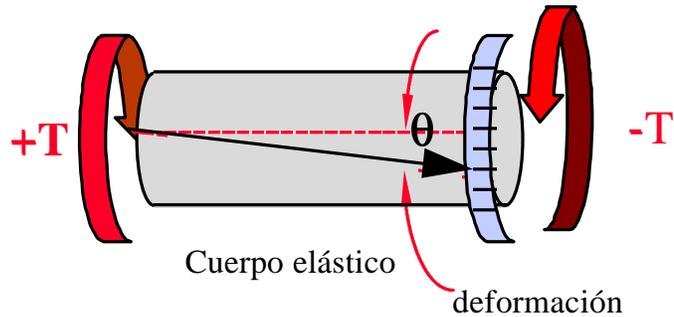


Figura 4. Deformación producida en un elemento elástico bajo la aplicación de un par torsional.

## TRAZABILIDAD

La Trazabilidad es la propiedad de un resultado de medición, consistente en poder relacionarlo con los patrones apropiados, generalmente nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones.

En México, nuestro sistema nacional de medición de par torsional se compara con laboratorios nacionales de otros países para asegurar la compatibilidad y equivalencia de las mediciones y poder dar confianza y credibilidad a las mediciones en los eslabones de la cadena de trazabilidad hacia el patrón nacional.

Los requisitos que debe cumplir dicha cadena, son los siguientes :

- a) Cada eslabón de la cadena consiste de un patrón calibrado (en el sentido estricto y formal) contra otro de más alta calidad metrológica.
- b) La frecuencia con que se calibra cada patrón es tal que, permite asegurar la calidad de las mediciones considerando variaciones que pueda sufrir el patrón (por su frecuencia de uso o por el tiempo, *deriva*).
- c) Una característica deseable para cualquier cadena de trazabilidad, es que sea conforme al compararse con otras cadenas completamente independientes.

A manera de ejemplo tenemos a continuación, un modelo de la carta de trazabilidad en la magnitud de par torsional de la División de Metrología de Fuerza y Presión del CENAM.

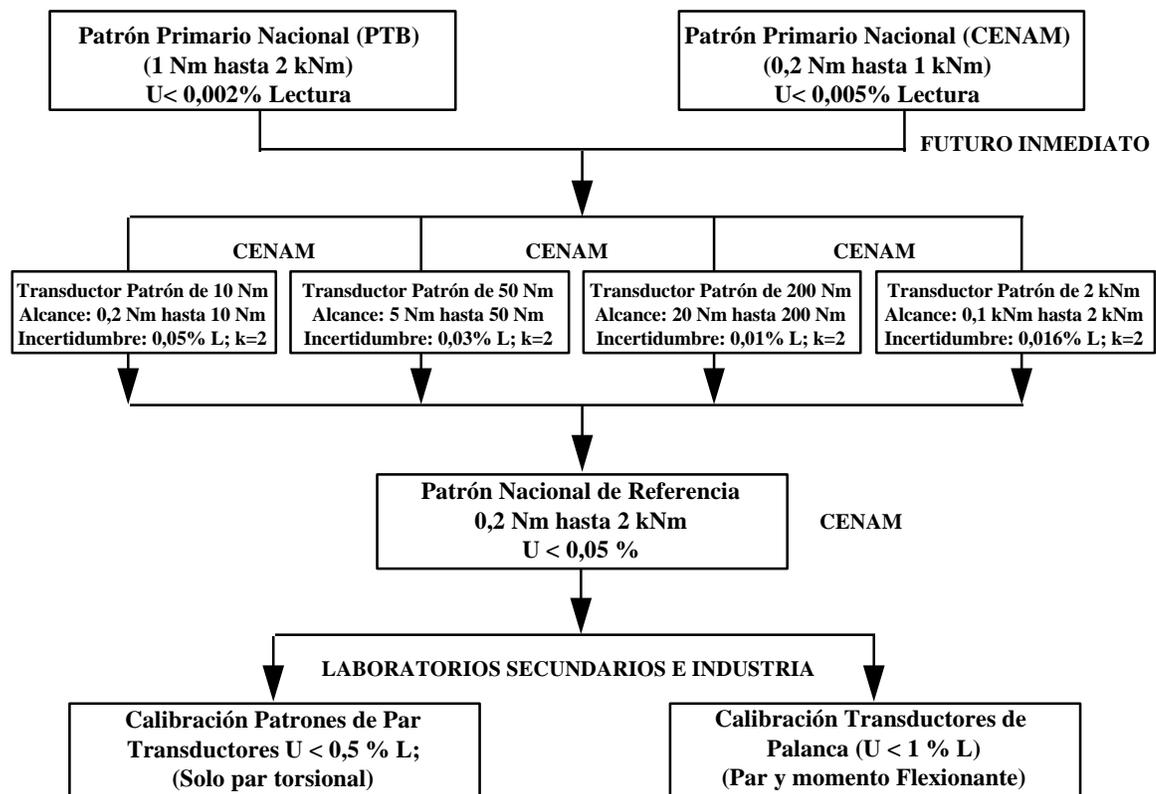


Figura 5. Carta de trazabilidad en el laboratorio de par torsional del CENAM

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. C. Torres y D. Ramírez / *Diseño y Construcción de un Sistema de Medición de Par Torsional en México* / Artículo en el evento Metrología '96, La Habana Cuba, septiembre de 1996.
- [2] D. Ramírez y J. C. Torres / *Metrología de Par Torsional* / Curso, CENAM, División de Metrología de Fuerza y Presión, junio de 1998.
- [3] D. Peschel / *Proposal for the design of torque calibration machines using the principle of a component system* / 15th IMEKO International Conference, Madrid España, octubre de 1997.
- [4] Ake Thulin (BIML) / *A "standardized" gravity formula* / Bulletin OIML – N° 127 – junio de 1992.