

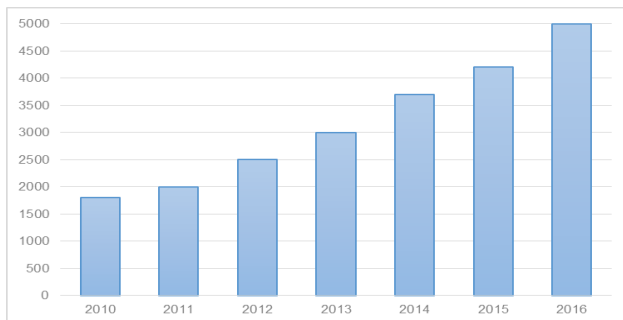
DESARROLLO, CARACTERIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PRIMARIO DE PAR TORSIONAL EN CONJUNTO CON EL CENTRO NACIONAL DE METROLOGIA CENAM Y LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD AMERICA DE COLOMBIA

ING. JONATAN BUITRAGO, ING. SEBASTIAN BUITRAGO,
ING. EDGAR MARTINEZ, ING. ALEJANDRO ROBLES
COAUTORES DR. JORGE TORRES, ING JESUS GALVAN
CARRERA 69 A No. 55-16 SUR / CALIBRATION SERVICE SAS
TELS. (571) 7285146 – 2047699, gerenciacsas@gmail.com

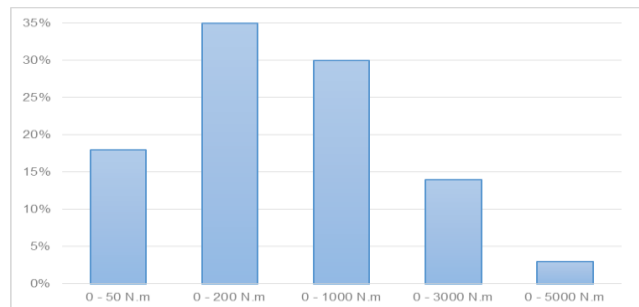
Resumen: Este trabajo da a conocer los avances de **CALIBRATION SERVICE SAS** hacia el desarrollo de un sistema primario de medición en la magnitud de Par Torsional con la cooperación y asesoría del **CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA (CENAM)** y el apoyo de estudiantes de Ingeniería Mecánica de la **FUNDACIÓN UNIVERSIDAD AMERICA DE COLOMBIA (FUA)**. **CALIBRATION SERVICE SAS** se planteó para el año 2016 cuantificar correctamente la magnitud de par torsional con altos niveles de confiabilidad, lo anterior con el objetivo de diseminar esta magnitud empleando tecnología compatible con la de otros países lo que permitirá enfrentar los diferentes retos que han surgido en el mercado de la industria nacional.

1. INTRODUCCIÓN

El diseño, desarrollo y construcción de un patrón de referencia de Par Torsional en **COLOMBIA** es cada vez más latente debido al aumento significativo de la demanda en los servicios de calibración en esta magnitud (Ver grafica 1.1). En la actualidad los laboratorios secundarios y la industria en general manejan intervalos de medición en los diferentes sistemas de par torsional en rangos de 0,1 N.m a 3.000 N.m (Ver grafica 1.2), con clases de exactitud 0,25% de la lectura según fabricante, esto ha generado al grupo de colaboradores de **CALIBRATION SERVICE SAS** nuevas expectativas hacia el diseño de un patrón primario para la realización de la medición de esta magnitud con el apoyo del **CENTRO NACIONAL DE METROLOGIA (CENAM)** de **MÉXICO** y el apoyo de estudiantes de Ingeniería Mecánica de la **FUNDACIÓN UNIVERSIDAD AMERICA DE COLOMBIA(FUA)**.



Grafica 1.1 Demanda de calibración en Colombia para la magnitud de par torsional en los últimos 6 años hasta septiembre 2016.



Grafica 1.2 Intervalos de medición más usados en la magnitud de Par Torsional por la industria Colombiana

1.1 DESCRIPCIÓN DE PAR TORSIONAL

El Par Torsional es una magnitud derivada de las magnitudes fuerza y longitud, es el efecto que se obtiene como resultado de la rotación debida a la aplicación de una fuerza. Un Par Torsional es producido por un par de fuerzas aplicadas a un cuerpo a una distancia perpendicular de un eje, de tal modo que genere en él una rotación alrededor del mismo, el Par Torsional o lo que comúnmente se conoce como “torque”, puede ser asociado con la fuerza de apriete en un tornillo [1], para una representación más comprensible veamos la figura 1.1.

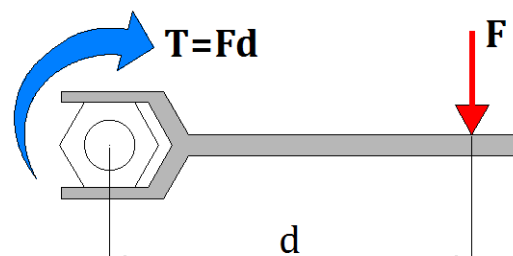


Figura 1.1 Par Torsional (torque) aplicado a un tornillo

El Par Torsional (torque) aplicado al tornillo es la fuerza (F) aplicada a un cuerpo a una distancia (d). El valor de este par se calcula como el producto vectorial de la fuerza aplicada por la distancia perpendicular del punto de aplicación de la Fuerza y el eje de rotación del cuerpo, por lo que se tiene:

$$\text{Par Torsional} = \text{Fuerza} * \text{distancia. } T = F * d \quad (1)$$

Sabemos que la fuerza es una magnitud dependiente de la masa de acuerdo a la segunda ley de Newton:

$$\text{Fuerza} = \text{masa} * \text{aceleración } (F = m * a) \quad (2)$$

Para el caso de la aplicación de la fuerza mediante una masa estática en un lugar específico la aceleración se puede expresar como:

$$\text{Aceleración} = \text{gravedad local } (a = g_i) \quad (3)$$

De acuerdo a lo anterior se tiene que:

$$T = (m) (g_i) (d) \quad (4)$$

De acuerdo al sistema internacional de unidades (SI), derivado de las magnitudes fundamentales: longitud, masa y tiempo se tiene:

$$T = (\text{kg}) (\text{m/s}^2) (\text{m}) \quad (5)$$

Es decir la unidad de Par Torsional es el newton metro y su símbolo es:

$$\text{N}\cdot\text{m} \quad \text{donde} \quad 1 \text{ N}\cdot\text{m} = 1 \text{ kg m}^2/\text{s}^2 \quad (6)$$

2. MEDICIÓN DE PAR TORSIONAL

Existen diversas formas para poder determinar el valor de un Par Torsional, estas dependen del tipo de mediciones que se realicen, las cuales pueden ser dinámicas o estáticas. El par dinámico es la determinación del valor de respuesta de par torsional de un instrumento como función del tiempo para una determinada frecuencia de excitación, mientras que para el par estático se considera que la frecuencia de excitación es cero.

Para la medición del par haremos referencia al método primario, donde la cuantificación se hace por **stricto sensu**, es decir la realización física de la unidad de medida a partir de su definición, mientras que en los métodos secundarios la cuantificación se obtiene por un efecto físico diferente de la magnitud a medir, como por ejemplo mediante deformaciones elásticas de un material.

2.1 SISTEMA PRIMARIO DE PAR TORSIONAL DEL CENAM

El **CENAM** tiene actualmente un sistema primario para la medición de Par Torsional que reproduce la definición de “torque” mediante la aplicación de una fuerza perpendicular a un brazo de palanca cuya longitud es de 1 m, esto quiere decir que dicha fuerza forma un ángulo recto sobre el plano en el que está actuando. Véase figura 2.1. [2]

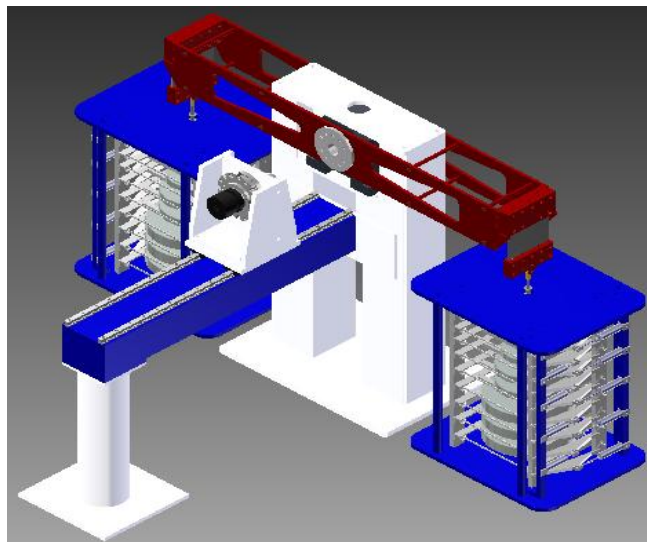


Figura 2.1 Sistema patrón primario de par torsional del **CENAM**

Teniendo en cuenta lo anterior **CALIBRATION SERVICE SAS** establecerá un sistema primario de Par Torsional basándose en el diseño del **CENAM**, esto permitirá autonomía en la trazabilidad de las mediciones en **COLOMBIA** ahorrando tiempos y costos de calibración, adicionalmente analizará, evaluará y estimará los presupuestos de incertidumbre que finalmente serán aprobados por los colegas del **CENAM**, posteriormente se llevarán a cabo estudios de caracterización y comparaciones internacionales como parte del aseguramiento de la calidad de las mediciones realizadas para obtener un sistema confiable.

3. SISTEMA PRIMARIO DE MEDICIÓN SELECCIONADO.

El Sistema de medición seleccionado es método directo con brazo de palanca y masas, empleando apoyo [3], este método se presenta en la figura 2.1 y su modelo matemático está representado en la ecuación 7. La restricción principal es la utilización del elemento de apoyo (rodamiento), el cual puede incluir en la medición de Par Torsional una incertidumbre relativa desde $\pm 2 \times 10^{-4}$ de la lectura (rodamiento de bolas) hasta un mínimo de $\pm 1 \times 10^{-8}$ de la lectura (rodamiento de aire) [4].

La siguiente expresión matemática define el Par Torsional como una fuerza resultante generada por la masa M (densidad ρ_m) y la aceleración local de la gravedad (g)

$$T = \left\{ M * g_{local} \left[1 - \frac{\rho_{aire}}{\rho_{masa}} \right] * d \right\} - T_f \quad (7)$$

donde :

- T es el par torsional aplicado, en $Nm = Kg m^2/s^2$.
- T_f es la densidad de las masas en kg/m^3 .
- M es la masa aplicada en kg.
- g_{local} es la aceleración de la gravedad local, en m/s^2 .
- ρ_{aire} es la densidad del aire, en kg/m^3 .
- ρ_{masa} es la densidad de las masas en kg/m^3 .
- d es la longitud del brazo de palanca en m.

4. DISCUSIÓN

Un problema que presenta esta configuración es que, cuando se desea obtener una incertidumbre baja, el costo aumenta significativamente en el desarrollo del sistema, ya que se deben tener 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 y mantener alineado el eje donde se aplica la carga), brazo de palanca (con una incertidumbre de $\pm 1\mu m$ en longitud), sistema de alineación en el brazo de palanca (máxima deformación $\leq 1 mm$ y ángulo de desviación respecto a la horizontal $\leq 1^\circ$). Ver figura 4.1.

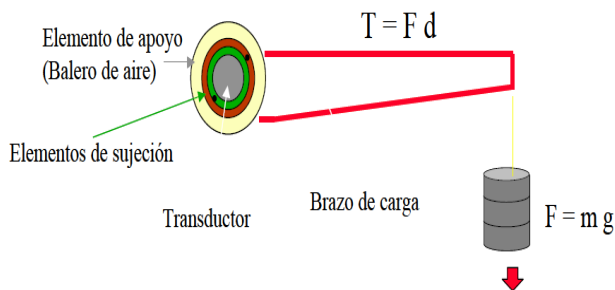


Figura 4.1 Ilustración de un sistema primario de medición de par torsional.

5. CONCLUSIONES

El desarrollo de este tipo de proyectos permite agrupar diversas áreas del conocimiento de manera productiva, adicionalmente compacta equipos de trabajo multidisciplinarios generando de esta manera aprendizaje, experiencia, práctica y habilidades que finalmente se verán reflejadas en aplicaciones para la industria.

Obtuvimos datos, análisis estadísticos, referencias bibliográficas y bases que nos permitieron tener un concepto claro del tema general de Par Torsional a nivel nacional, adicionalmente un enfoque técnico por medio de visitas al **CENAM** lo que nos permitió tener una perspectiva más amplia y apropiada para implementar en nuestro país equipos que se ajustan al sistema que se plantea desarrollar.

AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen y agradecen de manera especial al **Dr. JORGE TORRES, ING. JESUS GALVAN E ING. OMAR SEGOVIA** funcionarios del **CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA – CENAM**, por su experta asesoría, apoyo incondicional para el desarrollo, mantenimiento y disseminación de la magnitud de par torsional principalmente en México y su aporte para el desarrollo de este proyecto en Colombia.

REFERENCIAS

- [1] Ramírez Ahedo D., Torres Guzmán J. C., Galván Mancilla J., Metrología de Par Torsional, Publicación Técnica del CENAM CNM-MMF-PT-002. Diciembre de 1999.
- [2] Ramírez Ahedo D., Torres Guzmán J., Peschel D., Diseño y Construcción de un Sistema de Medición de Referencia de Par Torsional en CENAM (México). Memorias del congreso Metrología '96. La Habana, Cuba. Publicado en octubre de 1996.
- [3] Torres Guzmán J., Ramírez Ahedo D., Medición Primaria de Par Torsional. XIV Seminario Nacional de Metrología. Aguascalientes, Ags. Publicado en agosto de 1998.
- [4] Peschel D., Mauersberger D., "Determination of the friction of aerostatic radial bearings for the lever-mass system of torque standard machines" Proceedings of the 13th IMEKO World Congress, Torino (I). Publicado Septiembre 5-9, 1994.

