

# VERIFICACIÓN DE AMPLIFICADORES DIGITALES DE ALTA EXACTITUD PARA MEDICIONES DE FUERZA Y DE PAR TORSIONAL

Calixto Morales Aguillón, Jorge C. Torres Guzmán  
 Centro Nacional de Metrología  
 km 4.5 carretera a Los Cués, El Marqués, Querétaro  
 +52-01-4422110500 ext. 3751, correo electrónico: cmorales@cenam.mx

**Resumen:** Para la trazabilidad de las mediciones científicas, particularmente de las magnitudes de fuerza y par torsional, el uso de los amplificadores-indicadores digitales para la visualización de indicación de lectura de los transductores, tiene un papel muy importante en la estimación de la incertidumbre de medida. Se describe el procedimiento para realizar la verificación de los amplificadores digitales de alta exactitud como parte del programa de mantenimiento que se tiene en los laboratorios de fuerza y par torsional del Centro Nacional de Metrología de México (CENAM).

## 1. INTRODUCCIÓN

Los amplificadores-indicadores de señal eléctrica para transductores de medición con puente de galgas extensométricas, específicamente los utilizados en las magnitudes de fuerza y par torsional, tienen la importante función de ser el sub-sistema para la adquisición de señales eléctricas de los transductores. Permiten la visualización en su indicador digital de lectura de medición que recibe del transductor conectado.

Los amplificadores de alta exactitud utilizados en los laboratorios de calibración, deben mantenerse en monitoreo tanto del software como de hardware. Particularmente, los utilizados en los laboratorios del CENAM, elemento importante en la cadena de medición del sistema nacional de medición en fuerza y par torsional, se requieren de un proceso de verificación en el que se determine el cumplimiento de la exactitud requerida para los fines propuestos.

## 2. VERIFICACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE SEÑALES ELÉCTRICAS (AMPLIFICADOR DIGITAL)

La señal eléctrica utilizada en los amplificadores para transductores de fuerza o par torsional se encuentra en el intervalo de medida de 0.1 mV/V a un máximo de 2 mV/V, por las características del puente completo de wheatstone. Las lecturas de los datos adquiridos de forma digital en los amplificadores de alta exactitud pueden mostrar una resolución de hasta 1 parte por millón.

### 2.1. Sistema patrón de referencia

El instrumento patrón que se utiliza para la verificación de los amplificadores digitales es un

calibrador de puente de alta precisión, el cual funciona como sistema de simulación, emitiendo señales definidas en tensión eléctrica; es decir, simulando al transductor de puente completo.

Las características del sistema patrón utilizado en la verificación son: marca HBM, modelo BN100A, número de serie 14137. Clase de exactitud 0.000 5, señal ajustable de 0.1 mV/V a 100 mV/V tanto para polaridad positiva como negativa, con frecuencia portadora de 225 Hz e impedancia de 350  $\Omega$  [1] con trazabilidad al Laboratorio Nacional de Metrología de Alemania PTB, con certificado de calibración por relación de tensión hasta 2 mV/V y excitación al puente de 5 V.

### 2.2 Instrumentación del proceso para la adquisición de datos

Los amplificadores digitales que se verifican son de la marca HBM y se describen en la tabla 1.

Modelo	Clase de exactitud*	Filtro digital (Hz)**
Scout 55	0.1	0.2
MGCplus	0.002 5	0.22
DMP40	0.000 5	0.22
DMP40S2	0.000 5	0.22

\*De acuerdo a fabricante. \*\*Filtro digital sugerido, de tipo Bessel.

**Tabla 1.** Amplificadores digitales del laboratorio.

La metodología para la verificación es en base al método por comparación directa [2]. La resolución del amplificador digital se determina de acuerdo a la definición del VIM [3]. El proceso de adquisición de datos del instrumento bajo verificación, considera tres lecturas por cada punto de medición, realizando tres series de forma ascendente del 10 % al 100 %

del intervalo máximo de verificación, dividido en 10 puntos de medida distribuidos de forma equidistante.

### 2.3 Estimación de la incertidumbre de medida

La estimación de la incertidumbre de los amplificadores digitales descritos se caracteriza con el modelo de medida de la ecuación 1.

$$y = l_{ref} + res + rep \quad (1)$$

Donde,

$y$	indicación del amplificador
$l_{ref}$	indicación del patrón de referencia
$res$	resolución del instrumento bajo verificación
$rep$	repetibilidad de las mediciones

Si todas las correlaciones son nulas, la incertidumbre estándar combinada del mensurando se estima de la ecuación 2.

$$u_y = \sqrt{u_{ref}^2 + u_{res}^2 + u_{rep}^2} \quad (2)$$

Siendo,

$u_y$	incertidumbre estándar combinada,
$u_{ref}$	incertidumbre estándar del patrón de referencia con el valor obtenido del certificado de calibración,
$u_{rep}$	repetibilidad de indicación de lectura,
$u_{res}$	resolución del amplificador digital.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Aseguramiento de la calidad de las mediciones

La estimación de la incertidumbre es uno de los parámetros en la decisión para el uso de amplificadores digitales. También se utiliza la linealidad relativa, su valor se indica en forma de porcentaje de la fuerza nominal. Utilizar la linealidad relativa nos permite visualizar si los valores medidos están dentro del intervalo de la desviación permitida y, al mismo tiempo, observar la distribución dentro de los límites, determinando si se encuentran alrededor de una línea recta determinada por la clase de exactitud del instrumento bajo verificación.

### 3.2 Confirmación metrológica

Con el seguimiento de este proceso para verificación, se puede determinar la conformidad de los resultados de la verificación de los amplificadores digitales para transductores de fuerza o par torsional respetando

los requisitos de la norma [4] utilizando equipos con trazabilidad al instituto nacional de metrología de Alemania (PTB) según la norma [5].

## 4. DISCUSIÓN

Los transductores de fuerza o par torsional de alta exactitud, deben cumplir con los requisitos metrológicos exigidos en su aplicación, por ejemplo, las mediciones en comparaciones internacionales. El proceso para la verificación de los amplificadores es importante en la determinación de la incertidumbre de medida de la cadena de medición, sobre todo en transductores de alta exactitud de los laboratorios nacionales, la cual es hasta diez veces superior a la que exige la norma [2] de acuerdo a su clasificación.

## 5. CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en la verificación de los amplificadores digitales de los laboratorios de fuerza y par torsional se demuestra la confiabilidad de sus mediciones y la conformidad de los resultados esperados, así como la pertenencia a la clase de exactitud para el uso previsto. El procedimiento para la verificación de amplificadores digitales de alta exactitud, puede ser funcional para servicios de verificación de los amplificadores digitales de laboratorios nacionales o secundarios que así lo requieran. En un trabajo a futuro, se plantea el estudio de la relación entre la verificación del amplificador digital con el uso específico de un transductor con tecnología TEDS (Transducer Electronic Data Sheet) [6].

## REFERENCIAS

- [1] KAUL, HBM, data sheet "B0657-3.0 en", BN100A, 18/julio/2013.
- [2] ISO 376:2004, "Metallic materials - Calibration of force-proving instruments used for the verification of uniaxial testing machines".
- [3] NMX-Z-055-2009 Vocabulario internacional de metrología – Conceptos fundamentales y generales, términos asociados", (ISO/IEC GUIDE 99:2007).
- [4] NMX-EC-17025-IMNC-2006 / ISO/IEC 17025:2005 "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración".
- [5] ISO 10012:2003 Sistemas de gestión de las mediciones — Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición.
- [6] Data sheet "B2235-2.0 de/en", TEDS, <http://www.hbm.com/es/>, consulta 02/05/20