

# ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE EN TIEMPO Y FRECUENCIA USANDO DOS ESTIMADORES DIFERENTES, APLICADO A CALIBRACIÓN DE FRECUENCÍMETROS SIN SALIDA DE SU OSCILADOR INTERNO

Liz C. Hernández F., y Nelson Bahamón C.  
Instituto Nacional de Metrología de Colombia  
Avenida Carrera 50 No. 26 – 55 Interior 2  
(571) 2542222 – lhernandez@inm.gov.co

**Resumen:** Para fortalecer la competitividad del país, el Instituto Nacional de Metrología de Colombia (INM) ha identificado la necesidad de generar claridad en conceptos básicos de metrología, que en la práctica han sido objeto de diversas interpretaciones. Es conocido el uso de la varianza de Allan en la magnitud de tiempo y frecuencia para el análisis de desempeño de osciladores; sin embargo, ¿debe usarse este mismo estimador en equipos sin salida del oscilador interno, como un tacómetro óptico, o es pertinente el uso de otro estimador? Esta inquietud es producto de auditorías a laboratorios de metrología donde se exige este enfoque.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la magnitud de tiempo y frecuencia se encuentra amplia literatura que contempla el análisis de equipos con salida de su base de tiempo [2], [3], y algunas guías técnicas [4], sin embargo, hay ausencia de normas y guías técnicas de libre acceso para el análisis de equipos que no poseen salida de su base de tiempo. Se trata de equipos industriales como son los tacómetros ópticos, multímetros, analizadores de frecuencia, analizadores de espectro, medidores de audio; equipos biomédicos como los medidores de frecuencia cardíaca, monitores de pacientes, uso de tacómetros ópticos en verificación de rotación de centrifugas, entre otros. Típicamente, estos equipos de indicación digital tienen una resolución entre los 0.0001 Hz y 1 Hz; su base de tiempo corresponde por lo general a un oscilador de cuarzo.

Este trabajo se centra en tacómetros ópticos; existen dos documentos relevantes de referencia [5] [6]. El propósito es comparar los resultados numéricos de estimación de incertidumbre para calibración de tacómetros ópticos usando la varianza estándar y la varianza de Allan para la evaluación de la incertidumbre tipo A. Así, generar una referencia para usuarios que pueden seleccionar estos equipos como patrones de trabajo para efectuar actividades de aseguramiento metrológico en mediciones de tiempo y frecuencia.

La varianza de Allan es usada para el análisis de estabilidad de osciladores y para el diagnóstico de fallas de los mismos. Entonces su utilidad es clara y necesaria si se lee directamente el oscilador interno de un equipo; no se tiene la misma claridad si lo que se hace es tomar lecturas de la indicación en su panel frontal.

## 2. ESTIMADORES PARA LA EVALUACIÓN TIPO A DE LA INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR

Con frecuencia el estimador utilizado para la evaluación de incertidumbre tipo A es la desviación típica experimental de la media (ver numeral 4.2.1, 4.2.2 y 4.2.3 de [7]), pero, si existe una correlación entre las medidas, por ejemplo en función del tiempo, debe usarse un método estadístico especializado; comúnmente la varianza de Allan (ver sección 4.2.7 de [7]). Estos métodos estadísticos especializados se usan para tratar las mediciones de patrones de frecuencia o en magnitudes metrológicas donde se realicen mediciones de largo plazo (sección 4.2.7 de [7]).

En resumen, en este trabajo se utiliza un estimador tradicional consistente en la media aritmética y la varianza estándar [7]; y un estimador especial consistente en la desviación fraccional de frecuencia y la varianza de Allan.

## 3. ASPECTO EXPERIMENTAL

Se subdivide en tres partes: método de calibración, adquisición de datos y alcance de medición (ver [6]).

## 4. MODELO MATEMÁTICO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Se destacan dos elementos [6]:

- La importancia de estudiar el tipo de distribución de salida mediante el análisis de incertidumbre dominante y los elementos relacionados con el teorema del límite central.
- La obtención de la incertidumbre para un mismo juego de datos mediante dos caminos diferentes:

el uso de la varianza estándar y la varianza de Allan.

**5. RESULTADOS**

Se obtuvieron resultados para tres puntos de calibración de diferentes tacómetros. Un aspecto interesante de comparación entre la varianza de Allan ( $\sigma$ ) y la estándar ( $s$ ), es la capacidad de la primera para medir numéricamente la estabilidad de los datos medidos, es decir, medir el ruido detrás de las mediciones. Entonces, se calculó el resultado de la incertidumbre expandida ( $U$ ) tres veces para cada punto, con tres secuencias de orden de datos diferentes; para cada punto se leyeron 10 datos.

**Tabla 1. Resultados de la calibración.**

$\bar{f}$ (RPM)	$f_n$ (RPM)	Error (RPM)	$U_s$ (RPM)	$U_\sigma$ (RPM)
300.0	300.0	0.0	0.1	0.3
300.0	300.0	0.0	0.1	0.2
300.0	300.0	0.0	0.1	0.3
15001	15000.0	1	0.9	2.4
15001	15000.0	1	0.9	2.4
15001	15000.0	1	0.9	1.8
99002	99000	2	13	40
99002	99000	2	13	31
99002	99000	2	13	19

**6. DISCUSIÓN**

Lo que más llama la atención en los resultados para el estimador especial, es el hecho de que la incertidumbre cambie significativamente cuando cambia el orden de los datos. La sensibilidad de la varianza de Allan al orden de los datos puede evidenciarse desde el punto de vista matemático pues lo que hace es comparar valores consecutivos en vez de hacer la comparación respecto de una medida de tendencia central. Esta característica es deseable cuando se tiene un gran número de datos (mediciones a largo plazo) y un oscilador con salida de la base de tiempo, pero no lo es en el contexto de este trabajo pues no se cumplen estas dos condiciones.

Como se menciona en la sección 2, la varianza de Allan es un estimador apropiado para mediciones de largo plazo, las cuales se obtienen habitualmente cuando se dispone de una salida de la base de tiempo; lo que permite tener un gran número de mediciones. En este caso, por el contrario se tienen solo 10. Entonces a un frecuencímetro sin salida de su oscilador interno (base de tiempo), no le es aplicable la nota del numeral 4.2.7 de [7], dado que

no se realizan mediciones a largo plazo y el método de medición no implica una correlación entre las variaciones aleatorias de la indicación de frecuencia en un indicador digital del instrumento bajo calibración, sino que la característica de interés es la dispersión entre dichas indicaciones.

**7. CONCLUSIONES**

En la calibración de tacómetros ópticos, se debe utilizar la varianza estándar en lugar de la varianza de Allan. Se puede considerar el mismo criterio para otros instrumentos sin salida de su base de tiempo.

**REFERENCIAS**

- [1] MinCIT, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, "Decreto número 4175 de 2011", República de Colombia.
- [2] SIMTFWG, "Publications related to activities of the SIM Time and Frequency Metrology Working Group (listed by topic area)", <http://tf.nist.gov/sim/papers.htm>, 2016-05-03.
- [3] BIPM, "Recent publications: BIPM Time Department", <http://www.bipm.org/en/bipm/tai/publications.html>, 2016-05-03.
- [4] CENAM y EMA. Guía técnica sobre trazabilidad e incertidumbre en la metrología de tiempo y frecuencia. México. Revisión 01. Abril de 2008.
- [5] H. Díaz and L. Palma, "Calibration of optical tachometers using a generator system of light pulses," IEEE Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM) Digest, Rio de Janeiro, Brazil, 2 p., August 2014.
- [6] HEERNÁNDEZ, Liz C.; BAHAMÓN, Nelson. ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE EN LA CALIBRACIÓN DE TACÓMETROS ÓPTICOS. MOMENTO - Revista de Física, [S.l.], n. 52, p. 68-82, July 2016. ISSN 0121-4470. Disponible en: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/momento/article/view/58894/56516>. Fecha de acceso: 28 July 2016
- [7] J.C.G.M. Evaluation of Measurement Data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Working Group 1 of the Joint Committee for Guides in Metrology. First edition – September 2008.