

Comparación interlaboratorial de cronómetros 2014

2014 Stopwatch Interlaborator y Comparison

Oscar Fallas-Cordero¹, Isabel Castro-Blanco², Harold Sánchez-Vargas³

Fecha de recepción: 2 de diciembre del 2014

Fecha de aprobación: 28 de marzo del 2015

Fallas-Cordero, O; Castro-Blanco, I; Sánchez-Vargas, H.
Comparación interlaboratorial de cronómetros 2014. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 3, Julio-Setiembre. Pág 64-73.

1 Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas. Instituto Costarricense de Electricidad, Apartado 485-2050. San Pedro, Costa Rica. Correo electrónico: ofallasc@ice.go.cr

2 Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas. Instituto Costarricense de Electricidad, Apartado 485-2050. San Pedro, Costa Rica. Correo electrónico: bcastro@ice.go.cr)

3 Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas. Instituto Costarricense de Electricidad, Apartado 485-2050. San Pedro, Costa Rica. Correo electrónico: hsanchez@ice.go.cr

Palabras clave

Cronómetros; comparación interlaboratorial; patrón viajero; calibración.

Resumen

Los cronómetros y temporizadores se utilizan para numerosas aplicaciones y se encuentran entre los dispositivos más comunes calibrados por laboratorios de metrología. Las calibraciones de cronómetros suelen realizarlas tanto los laboratorios secundarios, como los laboratorios estatales o privados. Sin embargo, en países pequeños, el instituto nacional de metrología (INM) a menudo acepta cronómetros para la calibración con el patrón nacional.

En este trabajo se describe y presentan los resultados de una comparación de cronómetros que se llevó a cabo en Costa Rica, entre marzo del 2014 hasta octubre del mismo año, por el Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas (LMVE) del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), como INM designado en Costa Rica para Electricidad, Magnetismo, Tiempo y Frecuencia. La comparación involucró 6 laboratorios participantes y un cronómetro patrón viajero.

Keywords

Stopwatches; interlaboratory comparison; travel standard; calibration.

Abstract

Stopwatches and timers are used for numerous applications and are among the most common devices calibrated metrology laboratories. Timer's calibrations are typically carry out by secondary laboratories, as well as state or private laboratories. However, in small countries, the national metrology institute (NMI) often accepts timers for calibration with the national standard.

This paper presents and describes the results of a timer comparison conducted in Costa Rica, from March 2014 until October 2014, by the Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)-Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas (LMVE) as a designated NMI in Costa Rica for Electricity, Magnetism, Time and Frequency. The comparison involved six participating laboratories and a standard stopwatch traveler.

Introducción

La comparación de cronómetros entre laboratorios, se realiza con el propósito de comparar las capacidades de medición de los laboratorios que ofrecen calibraciones de cronómetros a sus clientes o las utilizan en sus procesos, para mejorar sus métodos de calibración, además de ampliar la colaboración metrológica que ha existido recientemente entre laboratorios que realizan calibraciones en variables de tiempo y frecuencia y el LMVE.

El nivel de experiencia entre los laboratorios varió ampliamente. Algunos de los laboratorios realizan calibraciones rutinariamente mientras que otros no tenían experiencia previa y calibraron un cronómetro por primera vez. Por esta razón, a cada participante se le permitió seleccionar su propio método de calibración, basados en la instrumentación y la experiencia disponibles. La única restricción correspondió a que los laboratorios no podían abrir el cronómetro bajo ninguna

circunstancia. Cada participante también fue responsable de realizar su propia estimación de la incertidumbre de medición, utilizando métodos coincidentes con los descritos en la GUM⁴.

El Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas (LMVE) fue el laboratorio piloto para la comparación.

El cuadro 1 muestra los laboratorios participantes y los contactos técnicos.

Cuadro 1. Laboratorios participantes y contactos ofrecidos.

Laboratorio	Persona de contacto	Teléfono
SCM Metrología y Laboratorios S.A	Helber Meneses Navarro	2431 5252
Elvatron	Oscar Sibaja Seravalli	2242 9960 ext. 315
MET-CAL	Rolando Molina S. Karen Picado	2286 4286
CAMERICA	Luis Abarca Camacho	2280 2886
Laboratorio Químico de Aceites y Combustibles	Ana Lucrecia Montero Aguilar	2501 1081
RECOPE	Patricia Soto Esteban Castillo Luis Hernández	2550 3500 ext. 3858 2550 3769 2550 3750

Programación y logística de la comparación

Para la circulación del cronómetro patrón se propuso un circuito de traslado adecuado entre los laboratorios participantes y el laboratorio piloto, que consistió en la mediciones intermedias por el LMVE tras la medición de dos participantes, lo anterior con el fin de obtener una verificación del valor del patrón de manera periódica tras la movilización a lo largo de la ronda de la comparación.

Estuvo considerado como parte del tiempo de medición, el tiempo requerido para la estabilización y mediciones en cada laboratorio, así como el tiempo para el transporte adecuado. Los participantes cumplieron con la agenda pactada por lo que los tiempos estimados se consideran adecuados para el ejercicio en cuestión.

El cuadro 2 muestra la programación de mediciones, en donde se puede ver que el LMVE efectuó sus mediciones también al inicio y al final de la comparación.

⁴ Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement, JCGM 100:2008

Cuadro 2. Programa de mediciones.

Laboratorio	Fecha de medición	Fecha de transporte
LMVE	2013-10-31 a 2014-03-21	2014-03-24 a 2014-03-28
SCM Metrología y Laboratorios S.A.	2014-03-31 al 2014-04-18	2014-04-21 al 2014-04-25
Elvatron	2014-04-28 al 2014-05-09	2014-05-12 al 2014-05-16
LMVE	2014-05-19 al 2014-05-30	2014-06-02 al 2014-06-06
MET-CAL	2014-06-09 al 2014-06-20	2014-06-23 al 2014-06-27
RECOPE	2014-06-30 al 2014-07-11	2014-07-14 al 2014-07-18
LMVE	2014-07-21 al 2014-08-01	2014-08-04 al 2014-08-08
CAMERICA	2014-08-11 al 2014-08-22	2014-08-25 al 2014-08-29
Laboratorio Químico de Aceites y Combustibles	2014-09-01 al 2014-09-12	2014-09-15 al 2014-09-19
LMVE	2014-09-22 al 2014-10-03	N.A

El programa se completó en el periodo esperado. Las características técnicas del cronometro patrón viajero se mantuvieron estables durante este período, lo que permite establecer una comparación válida.

Mesurando

El mesurando se definió como la desviación fraccional de frecuencia del cronómetro (adimensional), que se puede determinar mediante la medición de la frecuencia o el tiempo, debido a la relación:

$$\frac{\Delta f}{f} = -\frac{\Delta t}{T} \quad (1)$$

Donde

$\frac{\Delta f}{f}$ es la diferencia entre la frecuencia medida y la frecuencia nominal, dividida dicha diferencia

por la frecuencia nominal y $-\frac{\Delta t}{T}$ es el cambio en el tiempo dividido por el periodo de medición.

Cronómetro patrón viajero

El patrón viajero que se utilizó corresponde a un cronómetro marca Citizen (figura 1), propiedad del ICE, código I-3659, con una resolución de 0,01 s, pantalla digital, botones de inicio y parada. El ICE-LMVE mantiene un historial de la estabilidad del patrón viajero.

Su base de tiempo es un oscilador de cristal de 32 768 Hz, similar al oscilador que se encontrar en un reloj de pulsera de cuarzo.

La pantalla se restablece después de un intervalo de tiempo máximo de 9 horas, 59 minutos, 59,99 s, pero los intervalos más largos se pueden medir si el operador calcula el número transcurrido de ciclos de 10 horas.

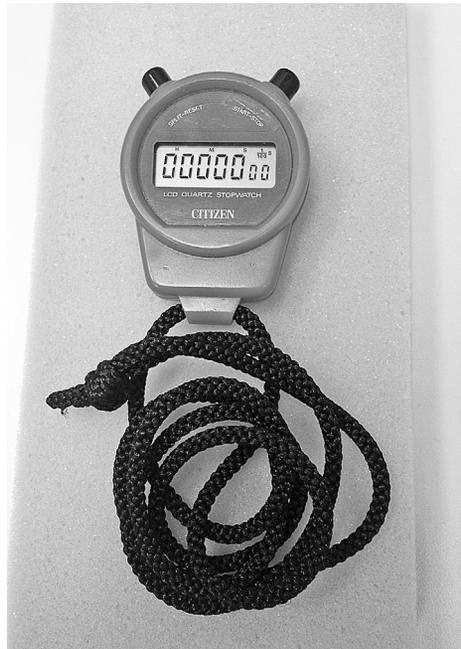


Figura 1. Cronometro utilizado como patrón viajero.

El cronometro viajó en una caja de protección destinada para su traslado. Cada participante usó sus procedimientos normales para el traslado y entrega del equipo.



Figura 2. Cronometro en caja utilizada para el transporte

El LMVE utilizó el método de calibración de base de tiempo mediante la medición por comparación directa de la frecuencia del oscilador de cuarzo, con un contador de frecuencia con su base de frecuencia alimentada desde el oscilador de cesio, el cual es la realización nacional del segundo y es comparado con el Sistema Internacional de Unidades (SI) mediante el Sistema SIM TF (<http://tf.nist.gov/sim/simnet.htm>).

Las mediciones realizadas por el laboratorio piloto corresponden a la diferencia entre la frecuencia medida y la frecuencia nominal del cronómetro patrón (32 768 Hz). Las mediciones se realizaron cada segundo, de manera consecutiva, durante tres días. Este método de calibración está definido en el alcance de acreditación vigente del LMVE ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA, http://www.eca.or.cr/acr_lab.php?t=c). El valor declarado por el LMVE es de 2.0×10^{-10} Hz/Hz ($k = 2$), para intervalos de promediación que van desde 1 s a 86 400 s. La mayor contribución a la incertidumbre de la medición por el LMVE corresponde a la variabilidad de las mediciones de la base de tiempo del cronómetro.

El cuadro 3 muestra los resultados de calibración del cronómetro patrón:

Cuadro 3. Resultados de calibración inicial y final del cronómetro patrón.

	Calibración	$\Delta f/f$ (Hz / Hz, partes en 10^6)	Δf (Hz)	s /día	U ($k = 2$, Hz/Hz, partes en 10^8)
Cronómetro Patrón	Inicial	2,52	0,083	0,22	3,75
	Final	2,37	0,078	0,21	7,47

La desviación fraccional de frecuencia cambió aproximadamente en -1.48×10^{-7} Hz/Hz durante los 178 días transcurridos desde la calibración inicial hasta la calibración final, efectuadas por el LMVE. Se nota que el error acumulado en tiempo (s / día) en el cuadro 3 fue menor a un segundo, lo que es muy bueno comparado con valores típicos de especificaciones de cronómetros (30 s por mes, alrededor de 1 s por día).

Formato de presentación de datos y descripción de los métodos de calibración

Se pidió a los participantes presentar sus resultados utilizando el formulario que se muestra en el cuadro 4. No todos los participantes siguieron el formato, y alguna información se omitió. Sin embargo, la información recolectada de cada participante fue suficiente para establecer una base para la comparación.

Cuadro 4. Formulario para entrega de resultados

Fecha de la calibración		
Fecha de inicio	aaaa-mm-ddhh:mm:ss	
Fecha de finalización	aaaa-mm-ddhh:mm:ss	
Configuración de la calibración		
Responsable de la toma de datos		
Patrón utilizado		
Trazabilidad		
Método utilizado		
Condiciones Ambientales		
Temperaturamáxima		°C
Temperaturamínima		
Humedadmáxima		%
Humedadmínima		
Resultado de la calibración		
Item	Valor	Unidad
Desviación Fraccional de Frecuencia		s/s
Incertidumbre		s/s
Factor de cobertura		

Como se señaló anteriormente, cada laboratorio seleccionó su método de calibración. Sin embargo, se acordó describir el método que eligieron, lo cual se muestra en el cuadro 5. A continuación, se describen brevemente los diferentes métodos que existen para la calibración de cronómetros.

Método de comparación directa

El método de comparación directa es el más común utilizado para calibrar cronómetros y temporizadores. Se requiere un equipamiento mínimo, pero tiene incertidumbres de medición mayor que otros métodos.

El método de comparación directa requiere una referencia del intervalo de tiempo trazable al SI. Esta referencia es generalmente una señal de tiempo de audio y en algunos casos una visualización de la hora por un patrón trazable al SI. Las señales de tiempo de audio generalmente se obtienen con una radio de onda corta o un teléfono.

Método totalizado

El método totalizado elimina parcialmente la incertidumbre de medida de tiempo por la reacción humana, pero requiere un generador de señal calibrado y un contador de frecuencia. El contador se pone en modo TOTALIZADO, con puerta manual. Una señal calibrada de un generador sintetizado es conectada a la entrada del contador, y la frecuencia principal del laboratorio se utiliza como la base de tiempo externa para el sintetizador. No se necesita una

referencia externa para el contador porque el operador realiza el control de tiempo de puerta del contador. La frecuencia debe tener un período, al menos de un orden de magnitud menor que la resolución del cronómetro. Por ejemplo, si el cronómetro tiene una resolución de 0,01 s (10 ms), se utiliza una frecuencia de 1 kHz (período de 1 ms). Esto proporciona al contador un dígito más de resolución que el cronómetro.

Para empezar la medición, se inicia el cronómetro y manualmente se abre la puerta del contador al mismo tiempo. Una forma de hacerlo es presionando el botón de arranque y parada del cronómetro contra el botón de inicio del contador. Otro método consiste en presionar el botón de inicio / parada del cronómetro con una mano y presionar simultáneamente el botón inicio / parada del contador con la otra mano. Después de un período adecuado de tiempo (determinado por los requisitos de calibración del cronómetro o el temporizador que se está calibrando) se usa el mismo método para detener el cronómetro y cerrar simultáneamente la puerta del contador.

Método Base Tiempo

El Método Base Tiempo es el procedimiento de medición preferido para calibraciones de cronómetros y temporizadores, ya que introduce la menor incertidumbre en la medición. Debido a que se mide la base de tiempo del cronómetro directamente, el tiempo de respuesta del operador no es un factor de calibración considerado. El método exacto de medición de la base de tiempo del cronómetro depende del tipo de cronómetro o temporizador que se está calibrando. Si la unidad tiene un cristal de cuarzo como base de tiempo, un sistema inductivo o acústico se puede utilizar para supervisar la frecuencia de 32 768 Hz del oscilador del cronómetro con un contador de frecuencia calibrado (la medición se envía a un amplificador para aumentar la intensidad de la señal).

Resultado de mediciones

Las condiciones ambientales, los resultados de medición y la incertidumbre estimada se muestran en el cuadro 5.

Cuadro 5. Resultados de los participantes

Laboratorio	Intervalo de temperatura (°C)	Intervalo de humedad (%)	Método	Resultado		$U (k = 2)$ (partes en 10^6)
				Hz/Hz (partes en 10^6)	s/día	
LMVE	18,0 a 23,0	30 a 70	Base de tiempo	2,49	0,21	0,042
Lab1	17,1 a 23,8	47 a 61	Comparación directa	2,42	0,209	0,29
Lab2	22,3 a 22,5	62 a 68	Totalizado	-0,428	0,037	4,05
Lab3	20 a 22	55 a 61	Comparación directa contra patrón	3,27	0,283	5,8
Lab4	22,2 a 23,8	48,3 a 63,6	Comparación directa	1,3	0,112	4,3
Lab5			Comparación directa contra patrón	2,76	0,239	0,321
Lab6	22,1 a 22,1	64 a 70	Comparación directa contra cronometro patrón	2,65	0,23	0,983

Como se ha indicado anteriormente, cada participante fue responsable de proveer su propia estimación de la incertidumbre de la medición, pero el formulario de presentación (cuadro 4) no exigía a los participantes incluir el análisis de la incertidumbre total; sin embargo, el análisis completo fue proporcionado por cuatro de los laboratorios. Este análisis no se incluye en este informe, sin embargo, la mayoría utiliza una variación del método de suma de la raíz de los cuadrados de cada componente de incertidumbre,

$$U = k\sqrt{U_A^2 + U_B^2} \quad (2)$$

Donde,

k = es el factor de cobertura (2 en todos los casos), es el cuadrado de la incertidumbre evaluada Tipo A y es el cuadrado de la incertidumbre evaluada Tipo B.

Para los laboratorios que mostraron su análisis de la incertidumbre mediante la comparación o totalizan métodos directos, como se esperaba, el tiempo de reacción humana es la mayor fuente de incertidumbre. En el método de base de tiempo, el mayor aporte es la incertidumbre del oscilador de referencia y la incertidumbre contribuida por los sensores e instrumentación. Hay varios ejemplos en los que las estimaciones de la incertidumbre parecen claramente ser sobreestimadas o bien subestimadas, y hay una considerable variación de los resultados de las mediciones reportadas por los diversos laboratorios, como puede verse en la figura 3.

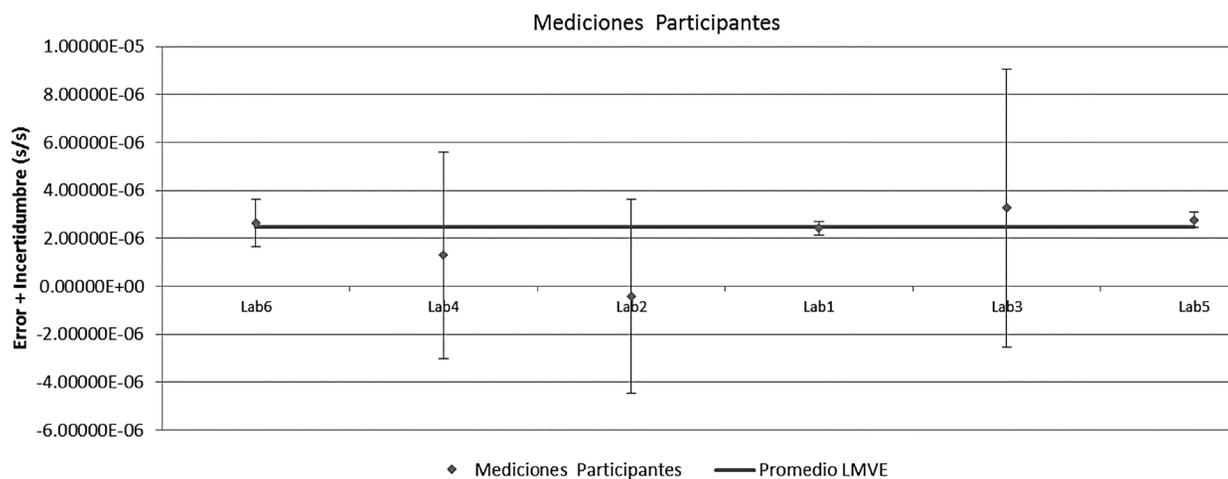


Figura 3. Resultados de los participantes

Resumen y conclusiones

La comparación mostró diferencias a considerar entre los participantes, por lo que se debe tomar en cuenta que algunos laboratorios no tenían experiencia previa con calibraciones cronómetro y que se utilizaron diferentes métodos de calibración. Los resultados obtenidos en esta comparación muestran que, aunque hay diferencias en los métodos de calibración y en las incertidumbres de los participantes, todos fueron capaces de brindar buenos resultados en esas condiciones.

Los conocimientos adquiridos durante la comparación podrían ser utilizados para desarrollar un procedimiento estándar para la calibración de cronómetros para los laboratorios involucrados. Aún más importante es que estos procedimientos se podrían distribuir a los laboratorios secundarios e industriales que tienen un gran número de cronómetros para calibrar.

También se espera que, en futuras comparaciones interlaboratorios, se dé un trabajo para mejorar las capacidades de calibración y medición de los participantes, y fortalecer aún más la cooperación entre los laboratorios. Esto podría incluir comparaciones de cronómetros adicionales, o comparaciones de los osciladores de precisión media, como los osciladores de cuarzo horno controlado utilizados en los equipos de prueba, entre otros.

Referencias

- Díaz H. and Postigo H., (September 2013), "*Calibración de cronómetros digitales por el método de inducción con una incertidumbre de medición $\leq 0,1 \mu\text{s/s}$* ", Proceedings of 2013 SEMETRO Conference, Buenos Aires, Argentina, 4 p. Obtenido desde: http://tf.nist.gov/sim/Papers/Diaz_Postigo_SEMETRO_2013.pdf.
- Gust J. C., R. Graham M., and Lombardi M. A., (January 2009), "*Stopwatch and Timer Calibrations*", (2009 edition), NIST Special Publication 960-12, 66 p. Obtenido desde: <http://tf.nist.gov/sim/papers.htm>.
- Jiménez J. and Sánchez H., (June 2009), "*Calibración de Cronómetros Mediante la Medición de la Frecuencia del Oscilador de Cuarzo*", Proceedings of 2009 SEMETRO Conference, João Pessoa, Paraíba, Brazil, 3 p. Obtenido desde: http://tf.nist.gov/sim/Papers/Costa_Rica_Stopwatches.pdf.
- López-Romero J. M., Lombardi M. A., Díaz-Muñoz N. and de Carlos-Lopez E., (December 2013), "*SIM Time Scale*", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 62, no. 12, pp. 3343-3350. Obtenido desde: <http://tf.nist.gov/general/pdf/2613.pdf>.
- López-Romero J. M., Díaz-Muñoz N., and Lombardi M. A., (August 2009), "*Establishment of the SIM Time Scale*", INFOSIM: Informative Bulletin of the Interamerican Metrology System - OAS, pp. 39-43. Obtenido desde: <http://tf.nist.gov/general/pdf/2431.pdf>.
- López-Romero J. M., Díaz-Muñoz N., and Lombardi M. A. (October 2008), "*Establishment of the SIM Time Scale*", Proceedings of the 2008 Simposio de Metrología, Querétaro, México, 5 pages. Obtenido desde: <http://tf.nist.gov/general/pdf/2306.pdf>
- Mojica L. M. and Solís R. F., (September 2011), "*Sistema de Bajo Costo Para Calibración Automatizada de Cronómetros Digitales*", Proceedings of 2011 SEMETRO Conference, Natal, Brazil, 4 p. Obtenido desde: http://tf.nist.gov/sim/Papers/Mojica_Sistema_de_Bajo_2011.pdf
- Mojica L. M. and Solís R. F. (September 2011). "*Error de Tiempo en Cronómetros Digitales en Base a Mediciones de Intervalo de Tiempo y Frecuencia*", Proceedings of 2011 SEMETRO Conference, Natal, Brazil, 8 p. Obtenido desde: http://tf.nist.gov/sim/Papers/Mojica_Error_de_Tiempo_2011.pdf.
- Solís R, Sánchez H, Fallas O, J. Lopez-Romero M, Jiménez F, Postigo H, Perez D, Masi V, Ibrahim A, Lombard M Hoger, B, de Carvalho J R, Orozco G, Reddock T and Trigo L, (February 2011), "*An Interlaboratory Stopwatch Comparison in the SIM Region*", 7 p. Obtenido desde: <http://tf.nist.gov/general/pdf/2571.pdf>
- Trigo L. and Slomovitz D. (October 2008), "*Calibración de cronómetros digitales por método de inducción*", IEEE Encuentro de Energía, Potencia, Instrumentación y Medidas, Montevideo, Uruguay, pp. 21-23. Obtenido desde: http://tf.nist.gov/sim/Papers/Uruguay_Stopwatches.pdf