

## **Calibración automatizada de cronómetros por el método de inducción con medidor de frecuencia de refrescamiento de pantalla**

### **Stopwatches calibration by induction method with screen refreshing rate meter**

**José David Ramírez Salazar**<sup>1</sup>, **Oscar Giovanni Fallas Cordero**<sup>2</sup>, **Blanca Isabel Castro Blanco**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR); <sup>2,3</sup> Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)

E-mail: jdavidr16@gmail.com, OFallasC@ice.go.cr, BCastro@ice.go.cr

**Resumen:** El presente documento muestra la implementación de un sistema automatizado para realizar mediciones, comparaciones y calibraciones de cronómetros, utilizando como referencia un contador de frecuencia sintetizado a un patrón primario de tiempo, por medio de la captura de la frecuencia de refrescamiento de la pantalla del instrumento (32 Hz). Con esto se logra analizar la dispersión que posee el sistema, la dispersión propia de los dispositivos de intervalo de tiempo y su exactitud en el tiempo.

Palabras-clave: Calibración, Cronómetro, Electrodo, Trazabilidad

**Abstract:** This document shows the implementation of an automated system capable of measuring, comparing and calibrating stopwatches using a frequency counter synthesized as a reference to a primary time standard, by capturing the screen refreshing frequency of the instrument (32 Hz). With this, it is possible to analyze the dispersion of the system, the dispersion of the time interval devices and their accuracy over time.

**Keywords:** Calibration, Stopwatch, Electrode, Traceability.

#### **1. INTRODUCCIÓN**

El Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas (LMVE) del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) cuenta con un sistema automatizado para la calibración de cronómetros y relojes digitales, que operen mediante la medición de la frecuencia de oscilación principal del cronometro de 32.768 kHz ( $2^{15}$  Hz).

El método presentado pretende analizar el comportamiento del grupo de señales de refrescamiento de pantalla, con el fin de obtener un sistema automatizado para la calibración de cronómetros y relojes digitales más sencillo y compacto, aprovechando los principios de funcionamiento de un electrodo para monitorización cardiaca, debido a la similitud entre las señales que se estudian durante un electrocardiograma y las señales que se producen

por el refrescamiento de pantalla en los dispositivos de intervalo de tiempo.

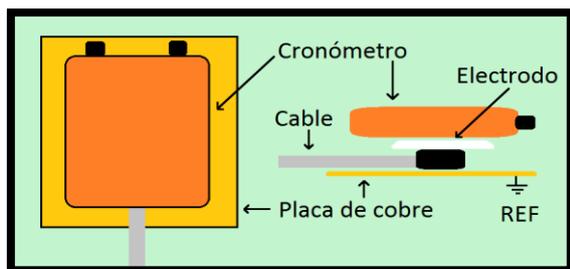
## 2. RECEPTOR DE CAMPO ELÉCTRICO

Todos los autores concuerdan en que se debe implementar un tipo de sistema de blindaje por medio de una caja metálica, debido a que la señal inducida por los dispositivos de intervalo de tiempo es de muy baja intensidad [1], [2], [3], [4] y [5].

La novedad del sistema implementado en este documento radica en la utilización de electrodos para la monitorización cardiaca para capturar la señal inducida por estos dispositivos. Se elige esta técnica debido a las similitudes con la señal producida por el corazón humano, ya que ambas son de baja intensidad, producen un campo eléctrico que puede ser detectado por inducción y están propensas al ruido eléctrico ambiental.

La figura 1 muestra el receptor de campo, el cual consta de tres partes:

- Placa de referencia
- Cable adaptador
- Electrodo



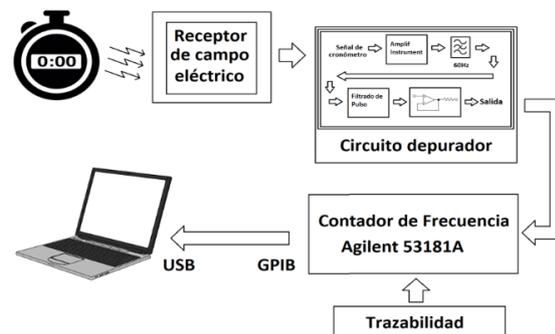
**Figura 1.** Receptor de campo eléctrico con electrodo.

## 3. CIRCUITO ACONDICIONADOR DE SEÑAL

El acondicionamiento de la señal es una parte importante de este sistema, debido a que las señales capturadas por medio del receptor de

campo eléctrico poseen una tensión eléctrica baja y además el piso de ruido está muy cercano a la magnitud de la señal total. La figura 2 muestra el diagrama de bloques del sistema de medición.

Para ello se implementa en una primera etapa un circuito amplificador de instrumentación con alta impedancia de entrada y además una amplificación de la señal con una ganancia de aproximadamente 135 V/V. En una segunda etapa se aplica un filtro para suprimir la banda de 60 Hz presente en la señal capturada por los electrodos. Finalmente se termina de filtrar la señal creando un pulso cuadrado únicamente cuando se presenta un pico de voltaje a la entrada; este pulso es lo suficientemente ancho y constante para que un contador de frecuencia lo pueda reconocer como un disparo y realice así una cuenta. A la salida del circuito se encuentra una configuración para el acople a un conector BNC.



**Figura 2.** Diagrama de bloques del sistema de medición.

## 4. SISTEMA DE CALIBRACIÓN DE CRONÓMETROS

En la figura 3 se muestra el sistema de calibración de cronómetros en operación. Este está constituido por el detector de campo eléctrico y el circuito depurador de señal, ambos se encuentran ensamblados en una caja protectora, diseñada en una impresora 3D con termoplástico PLA (poliácido láctico), con el objetivo de aprovechar

al máximo el área y disminuir drásticamente el peso.

A la salida del circuito acondicionador de señal se encuentra un contador de frecuencia, el cual cuenta con trazabilidad, este se encarga de capturar la señal de refrescamiento de pantalla y transmitir hacia una computadora los datos en tiempo real.



**Figura 3.** Receptor de campo eléctrico, circuito depurador y contador de frecuencia.

## 5. RESULTADOS

Para obtener las desviaciones de frecuencia para cinco cronómetros del LMVE por el método de comparación directa, se toman datos de los cronómetros, medidos contra el patrón de trabajo por un periodo de funcionamiento sin interrupciones.

La desviación fraccional de frecuencia se obtiene utilizando la ecuación (1) siendo su unidad en Hz/Hz debido a la relación de tiempo y frecuencia que se indica en la ecuación (2).

$$\text{Desvio fraccional frecuencia} = \frac{\text{Corrimiento promedio}}{\text{Tiempo acumulado}} \quad (1)$$

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{-\Delta t}{t} \quad \text{unidad} \rightarrow \frac{[\text{Hz}]}{[\text{Hz}]} \quad (2)$$

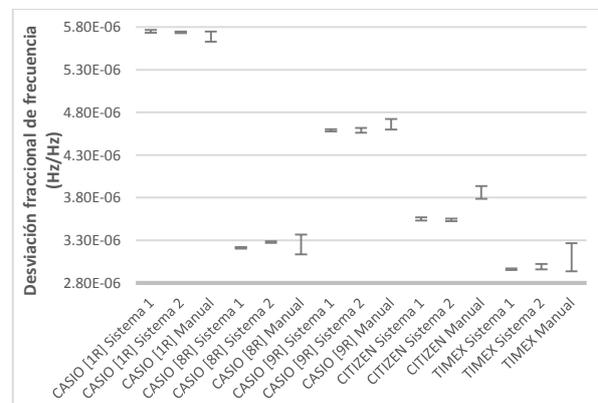
Una vez obtenidos los datos de referencia, se procede a medir la desviación fraccional de frecuencia de los cinco cronómetros, pero ahora por el método de inducción presentado en este documento. Se realizó la captura de 1 000 datos con un tau de un dato por segundo. En la tabla 1 se

muestran los resultados obtenidos de dos sistemas automatizados construidos para la calibración de cronómetros por el método de inducción propuesto contra los resultados obtenidos por el método de comparación directa.

**Tabla 1.** Resultados de la desviación fraccional de frecuencia de los cronómetros del LMVE.

Cronómetro	Instrumento de medición	Desviación fraccional de frecuencia (Hz/Hz)	Dispersión de los datos (Hz/Hz)
CASIO [1R]	Sistema 1	5.75E-06	1.73E-08
	Sistema 2	5.74E-06	1.01E-08
	Manual	5.69E-06	5.99E-08
CASIO [8R]	Sistema 1	3.21E-06	9.05E-09
	Sistema 2	3.28E-06	9.22E-09
	Manual	3.25E-06	1.15E-07
CASIO [9R]	Sistema 1	4.59E-06	1.27E-08
	Sistema 2	4.59E-06	2.95E-08
	Manual	4.66E-06	6.14E-08
CITIZEN	Sistema 1	3.55E-06	1.73E-08
	Sistema 2	3.54E-06	1.51E-08
	Manual	3.86E-06	7.56E-08
TIMEX	Sistema 1	2.96E-06	1.01E-08
	Sistema 2	2.99E-06	3.08E-08
	Manual	3.10E-06	1.66E-07

En la figura 5 se muestra el comportamiento de la dispersión de las desviaciones fraccionales de frecuencia y la dispersión obtenida con el método manual y con el método por inducción planteado.



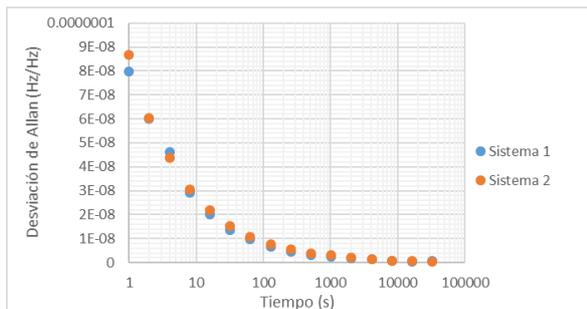
**Figura 4.** Comparación de desviaciones fraccionales de frecuencia con sus respectivas dispersiones de los cinco cronómetros del LMVE.

Con el método manual se observa que la dispersión de los datos cubre las variaciones del método por inducción, además hay que señalar que estas comparaciones no tienen el mismo

tiempo de observación, los datos adquiridos por el método manual tienen un tiempo de observación promedio de 604 800 segundos, mientras que con el método por inducción tienen únicamente 256 segundos, es decir que, con mayor cantidad de mediciones haciendo uso del método por inducción se podrá disminuir en la dispersión. Los valores de la desviación de Allan, se obtienen a partir de la ecuación 3.

$$\sigma_y(\tau) = \sqrt{\frac{1}{2(n-1)(f_n)^2} \sum_{i=1}^{n-1} (f_{i+1} - f_i)^2} \quad (3)$$

En la figura 6 se aprecia la estabilidad obtenida para la caracterización del ruido del sistema en términos de la raíz de la varianza de Allan.



**Figura 5.** Caracterización del ruido del sistema detector de frecuencia en términos de la raíz de la varianza de Allan.

## 6. CONCLUSIÓN

La técnica para la captura de la frecuencia de refrescamiento de pantalla de los cronómetros, no necesita un blindaje en el receptor de campo eléctrico, ni en el circuito depurador, pero sí un buen método de captura de la señal, como el detector de campo eléctrico implementado con electrodos para electrocardiograma.

El nivel de potencia inducido por los cronómetros a la frecuencia de 32 Hz depende directamente de su orientación, es decir de qué tan cerca está la pantalla LCD con respecto al electrodo, así como

de la tensión eléctrica de la batería interna. Es importante configurar el modo cronómetro, en caso que tenga otras funciones.

El método implementado alcanza valores de dispersión aproximados de 5.0 E-7 Hz/Hz lo cual, si bien presenta una dispersión de un orden mayor respecto al método por medición de frecuencia central existente, logra cubrir por un *TUR* de hasta 4:1 las necesidades para la calibración de cronómetros del mercado cuya resolución máxima es de 1 ms.

## Referencias

- [1] H. Díaz; H. Postigo, "Calibración de cronómetros digitales por el método de inducción con una incertidumbre de medición  $\leq 0,1 \mu\text{s/s}$ ", X Semetro, Septiembre, 2013.
- [2] H. Díaz and L. Palma, "Medición de la base de tiempo del cronómetro digital por el método de inducción", XI Semetro, Noviembre, 2015
- [3] J. Jiménez and H. Sánchez, "Calibración de cronómetros mediante la medición de la frecuencia del oscilador de cuarzo", VIII Semetro, Junio, 2009.
- [4] L. Mojica and R. Solís, "Sistema de bajo costo para calibración automatizada de cronómetros digitales", IX Semetro, Septiembre, 2011.
- [5] L. Trigo and D. Slomovitz, "Calibración de cronómetros digitales por método de inducción", IEEE, 7, pp. 21-23, Octubre, 2008.
- [6] CASIO. (2012). HS-80TW-1. Obtenido de casio-intl.com: [http://www.casio-intl.com/in/en/wat/watch\\_detail/HS-80TW-1/](http://www.casio-intl.com/in/en/wat/watch_detail/HS-80TW-1/)

## Agradecimientos

Se agradece a todos los compañeros del LMVE y del ICE quienes, en el desarrollo del presente trabajo y su revisión, hicieron posible la finalización del proyecto.