



CALIBRACION DE CRONÓMETROS MEDIANTE LA MEDICIÓN DE LA FRECUENCIA DEL OSCILADOR DE CUARZO.

Johnny Jiménez¹, Harold Sánchez²

¹ Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), Cartago, Costa Rica, jojimenez84@gmail.com

² Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), San José, Costa Rica, hsanchez@ice.go.cr

Resumen: Se presenta un sistema de medición de la frecuencia básica del oscilador de cuarzo de cronómetros, para la automatización de la calibración. El sistema detecta la señal básica de oscilación del cristal de cuarzo (2^{15} Hz), mediante la inducción de una corriente en placas paralelas usando el efecto capacitivo, y procesando la señal para extraer la frecuencia básica dentro de una señal muy ruidosa. Con este método se reduce significativamente la incertidumbre de calibración comparada con el método de comparación de la lectura en pantalla. También se reduce el tiempo del proceso calibración.

Palabras clave: calibración, relojes, cronómetros, cuarzo.

1. INTRODUCCIÓN

La calibración de cronómetros se ha estado realizando en el Laboratorio Metrológico del Instituto Costarricense de Electricidad mediante el método de lectura de la pantalla y comparación con la lectura de un receptor GPS. Este método introduce dos factores importantes de incertidumbre por la resolución del cronómetro y por la reacción manual del metrólogo. En otros laboratorios se han desarrollado sistemas automatizados que miden submúltiplos de la frecuencia del oscilador de cuarzo (2^{15} Hz = 32768 Hz), como por ejemplo la frecuencia de refrescamiento de la pantalla, considerando que el nivel de la señal relacionada con el refrescamiento es de un nivel relativamente alto. El nivel de la frecuencia 2^{15} Hz es muy bajo y está cercano al umbral de ruido de la señal total. Para su detección es necesario filtrar y amplificar la frecuencia deseada, lo cual es difícil en el nivel de ruido presentado por otras componentes de la señal total. El método presentado en este artículo hace uso de amplificador diferencial, una etapa de filtrado y de reducción de los pulsos generados por las señales cuadradas de submúltiplos de la frecuencia básica y una etapa de reconstrucción de la señal de la frecuencia básica. El uso de este sistema permite la medición de la frecuencia del oscilador de cuarzo,

disminuyendo la incertidumbre por la resolución de la medición de frecuencia, la cual es la componente mayor en el sistema total. El presente trabajo se diferencia de otros realizados con el mismo propósito [1] [3] en que la frecuencia medida es la del oscilador del cronómetro, no otras componentes de más baja frecuencia, como la de refrescamiento de la pantalla.

2. PROPÓSITO

Este sistema de calibración fue implementado con el propósito de automatizar la calibración de cronómetros y de reducir la incertidumbre total de la calibración, mediante la medición de la frecuencia más alta disponible en el objeto, con lo cual se reduce la incertidumbre por la resolución del sistema de medición y la reacción manual del operador. Fue realizado en el Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas (LMVE) del Instituto Costarricense de Electricidad, como proyecto de graduación de Johnny Jiménez para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Electrónica.

3. MÉTODO

La Figura 1 muestra la señal medida con un osciloscopio de un par de placas metálicas que contienen en medio el cronómetro objeto de la calibración, todo esto dentro de una cámara blindada. Se nota que esta señal es muy ruidosa si se requiere medir la frecuencia de la señal básica del oscilador de cuarzo.

En la referencia [3] Trigo y Slomovitz calculan varias frecuencias derivadas de la fundamental del oscilador de cuarzo. A partir de estas derivadas implementan el sistema medidor, en frecuencias de por ejemplo 28 Hz, 32 Hz y 42 Hz, que corresponden a los pulsos de mayor amplitud en la Figura 1. La frecuencia 2^{15} Hz queda cubierta por estas componentes y no se puede medir directamente por estar cercana al nivel de ruido de la señal total.

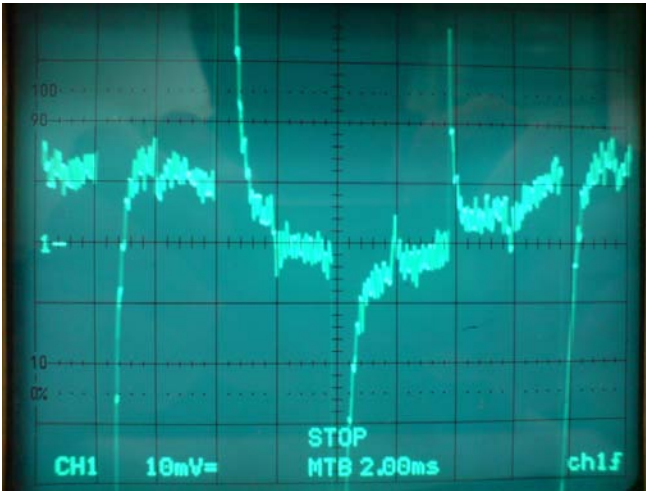


Figura 1 Señal relacionada con la inducción de campo de un cronómetro en las placas conductoras.

El diagrama de bloques del sistema implementado se muestra en la Figura 2

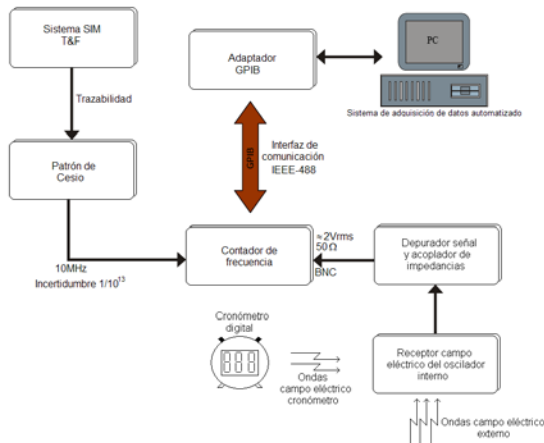


Figura 2 Diagrama de bloques del método de calibración.

El receptor de campo consiste en un blindaje para disminuir las inducciones externas y aislar las inducciones producidas por el cronómetro. La siguiente etapa es el circuito depurador y adaptador de señal, Figura 3, con el cual se logra acondicionar la señal de 2^{15} Hz para su medición con las siguientes etapas que consisten en equipo comercial.

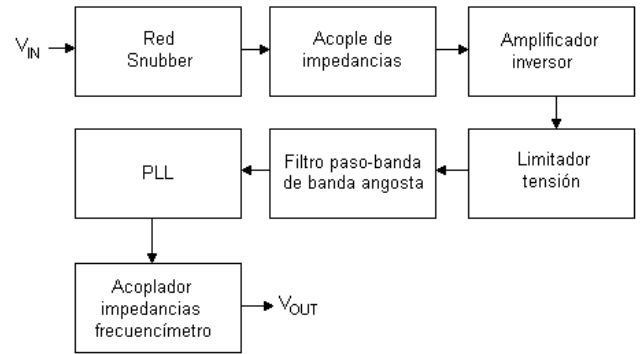


Figura 3 Diagrama de bloques del depurador y adaptador de señal

En Figura 4 se muestra la señal procesada que se mide con un contador de frecuencia con trazabilidad al SI mediante el patrón primario del ICE. Se nota la calidad de la señal obtenida luego del circuito depurador y adaptador, que optimiza la frecuencia del oscilador de cuarzo del cronómetro y minimiza las otras componentes de menor frecuencia y mayor amplitud original.

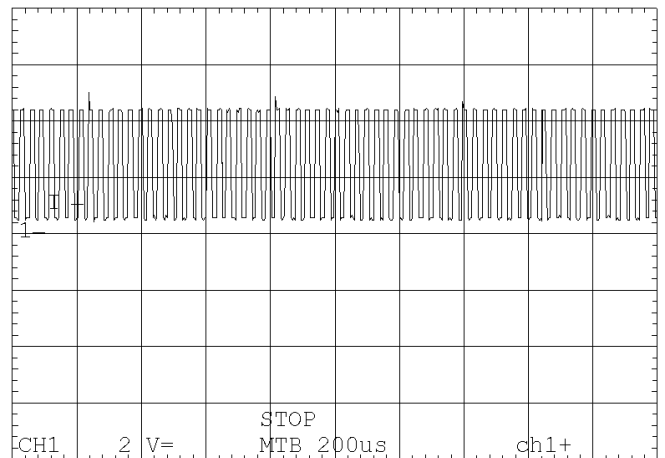


Figura 4 Señal generada para el muestreo de la frecuencia del oscilador

Para probar el sistema se utilizó la configuración de la Figura 5, donde se introduce una señal patrón de 32770 Hz para simular un cronómetro con muy alta estabilidad en corto plazo.

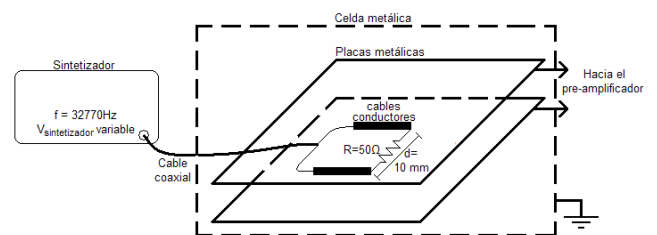


Figura 5 Esquema de conexión para la simulación

El resultado de la simulación se muestra en la Figura 6, donde el ruido de las mediciones es mucho menor que el que produciría un cronómetro comercial. Este ruido es una de las componentes de incertidumbre del nuevo sistema de medición.

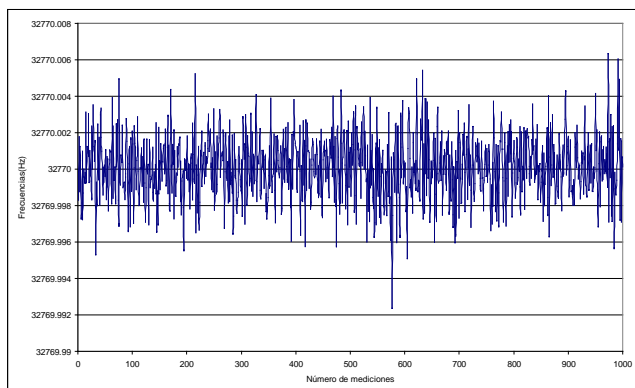


Figura 6 Medición de simulación con un sintetizador de 32770 Hz.

Un ejemplo real de mediciones de un cronómetro se muestra en la Figura 7. Se nota que se mantiene el ruido del sistema medido en la Figura 6, y las variaciones propias del oscilador del cronómetro durante 1000 mediciones, realizadas cada 3 segundos (el número de mediciones y la ventana de tiempo de medición son programables). En la Tabla 1 se muestran los datos de las primeras 10 mediciones.

Tabla 1 Primeras 10 mediciones de frecuencia, de un total de 1000, de oscilador interno del cronómetro del laboratorio.

N° Medición	Fecha	Hora	Frecuencia (Hz)
1	03/11/2008	03:20:48 PM	32768.136548
2	03/11/2008	03:20:52 PM	32768.136238
3	03/11/2008	03:20:55 PM	32768.136405
4	03/11/2008	03:20:59 PM	32768.136371
5	03/11/2008	03:21:02 PM	32768.136395
6	03/11/2008	03:21:06 PM	32768.136481
7	03/11/2008	03:21:09 PM	32768.136448
8	03/11/2008	03:21:13 PM	32768.136400
9	03/11/2008	03:21:16 PM	32768.136328
10	03/11/2008	03:21:20 PM	32768.136401

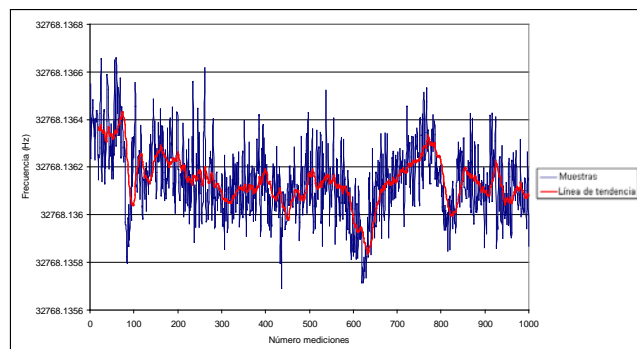


Figura 7 Medición de un cronómetro real.

La Tabla 2 muestra una comparación de factores de incertidumbre de comparaciones. Para el método manual se considera una resolución del objeto de 0.01 s, 3 días de período de calibración y reacción manual de 0.025 s del metrólogo. Para el método inductivo se considera la resolución de un contador de frecuencia de 11 dígitos, 1000 mediciones con ventana de tiempo de 3 segundos, ruido del sistema medido en condiciones extremas de bajo nivel de señal de un objeto simulado con un generador sintetizado.

Tabla 2 Cuadro comparativo de las incertidumbres de los métodos de calibración.

Fuente de incertidumbre	Incertidumbre (s, 1 sigma)	
	Método manual	Método inductivo
Resolución del objeto o contador	0.0029	8.8×10^{-12}
Base de tiempo	5.8×10^{-14}	5.8×10^{-14}
Ruido de sistema	0	1.7×10^{-09}
Reacción manual	0.10	0
Variabilidad de mediciones	0.040	1.5×10^{-10}
Incertidumbre combinada	2.2×10^{-01}	3.4×10^{-09}

3. CONCLUSIONES

Se logró la medición de la señal básica del oscilador de cuarzo de cronómetros para su calibración. Se reducen las principales componentes de incertidumbre de calibración, del tiempo de reacción manual del metrólogo o la resolución del objeto, a la resolución del contador de frecuencia y la variabilidad propia del objeto. El sistema manual usado anteriormente requería mediciones durante varios días para reducir la representatividad de la reacción manual. El sistema nuevo solo requiere mediciones de horas o minutos, para conocer la desviación del objeto en corto plazo. El sistema también permite las mediciones a largo plazo sin necesidad de intervención humana por ser un sistema automatizado.

AGRADECIMENTOS

Al Ing. Carlos Quevedo, de SIC Colombia, por su valiosa información para iniciar este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Quevedo, C. A. (2007). *Determinación de la frecuencia de oscilación de cronómetros*. Manuscrito no publicado, Superintendencia de Industria y Comercio, Colombia.
- [2] Gust, Jeff C; Graham, Robert M.; Lombardi, Michael A. (2004). *Stopwatch and timer calibrations*. Extraído el lunes 01 de septiembre del 2008 de <http://tf.nist.gov/general/pdf/1930.pdf>
- [3] Trigo, Leonardo; Slomovitz, Daniel (2008). Calibración de cronómetros digitales por método de inducción. Extraído el martes 04 de noviembre del 2008 de <http://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2008/TS08/>.