

## COMPENSACIÓN DE LA DERIVA EN OSCILADORES DE RUBIDIO

*Leonardo Trigo, Daniel Slomovitz*

LABORATORIO de UTE, Montevideo, Uruguay, ltrigo@ute.com.uy

**Resumen:** Los osciladores atómicos de rubidio se caracterizan por tener bajo ruido en medidas de corto plazo, mientras los sistemas GPSDO (GPS con oscilador disciplinado, generalmente dicho oscilador es de rubidio) de que además de brindar el servicio de posicionamiento global pueden tener salidas de frecuencia estándar. Dichos equipos poseen alto ruido en medidas de corto plazo, pero a largo plazo no tienen deriva pues el sistema GPS es supervisado desde estaciones terrestres correcciones a cada satélite que compone el sistema.

Este trabajo propone implementar un sistema automático con el cual compensar la deriva características de osciladores de rubidio comparando dicha salida con la salida del GPSDO.

**Palabras clave:** Reloj atómico, Rubidio, GPS, Cesio.

### 1. INTRODUCCIÓN

Los osciladores atómicos de rubidio no se consideran patrones primarios pues su frecuencia varía con el tiempo debido a características propias de su funcionamiento y además existen influencias externas que cambian el valor de la frecuencia. La mayor causa del cambio del valor de la frecuencia con el tiempo es el cambio de la relación entre el gas de rubidio y un gas buffer necesario para el funcionamiento. Estos gases son absorbidos muy lentamente, u otros son liberados a través de las paredes del recipiente que los contiene. Los mayores factores externos que influyen son las perturbaciones electromagnéticas. Aunque estos dispositivos están protegidos con blindajes, existen campos propios que también varían y no son totalmente inmune a influencias externas [1].

Por otro lado, un punto a favor de estos relojes es que en medidas de corto tiempo tienen muy bajo ruido, del orden de  $3 \times 10^{-12}$  en tiempos de 100 s (ver Fig 1).

Existe otro tipo de reloj llamado GPSDO (GPS con oscilador disciplinado), en el cual una conexión GPS controla la frecuencia del oscilador, generalmente de rubidio [2]. El sistema GPS, además de brindar el servicio de posicionamiento global, puede tener salidas de frecuencia estándar de 1 Hz, 1 MHz, 5 MHz y 10 MHz. Algunos modelos pueden tener otras salidas, usadas en telecomunicaciones, de 1.544 MHz o 2.048 MHz. Estos equipos a largo plazo no tienen deriva pues el sistema GPS es supervisado desde estaciones terrestres por relojes atómicos primarios (cesio), pudiendo realizarse correcciones

a cada satélite que compone el sistema. Sin embargo, los sistemas GPSDO poseen alto ruido en medidas de corto plazo (ver Fig 2).

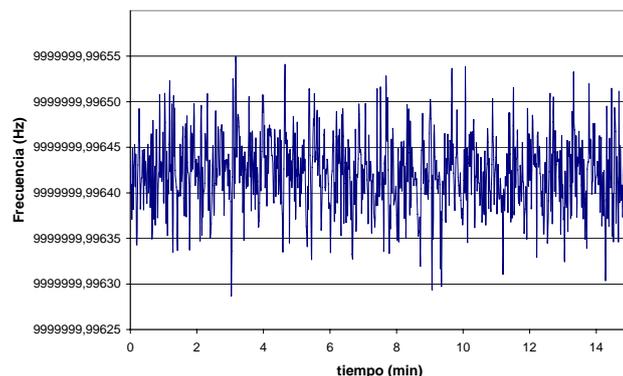


Fig 1. Grafico de la señal de salida del rubidio.

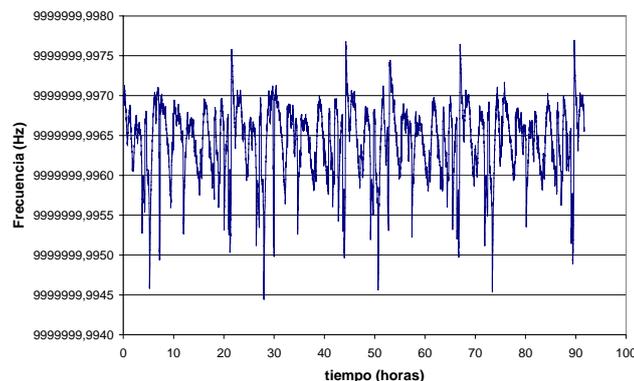


Fig 2. Grafico de la señal de salida del GPSDO.

Los osciladores atómicos de cesio son patrones primarios su frecuencia no se altera con el tiempo. Mediante el seguimiento de algunos parámetros se conoce cuando están llegando al límite de su vida útil. Ésta puede ser de alrededor de diez años en los equipos comunes y de cinco años en los de alta performance. Al llegar al fin de su vida útil es necesario reemplazar la ampolla donde reside el cesio y parte del sistema de funcionamiento. Su alto costo, tanto en el momento de la compra como en el momento de cambiar dicha ampolla, ha motivado este estudio, de mejoramiento de los relojes basados en rubidio. La idea clave es implementar un sistema automático el cual compense la deriva característica de estos osciladores, comparando dicha salida con la frecuencia promedio de un reloj GPSDO. Si el promedio se computa a lo largo de varios días, se minimizan los efectos del ruido característicos del GPSDO. De esta forma, se obtiene el bajo

ruido característico de relojes atómicos de primarios sin las altas derivas que caracterizan a los relojes de rubidio.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema está compuesto por un GPSDO, un reloj atómico de rubidio, un circuito electrónico de control, un contador universal y un computador (ver Fig 3).



Fig 3. Fotos del equipamiento que compone el sistema

El reloj de rubidio [3] permite la variación de su frecuencia de salida (10 MHz) en función de una tensión de control. Dicha tensión puede variar de 0 a 5 V, siendo el cambio de frecuencia aproximadamente  $5 \times 10^{-10}$  Hz/V. El objetivo es controlar la frecuencia en pasos de  $1 \times 10^{-13}$  Hz/Hz o menores. El circuito de control está formado por un zener de referencia de 10 V asociado a un divisor resistivo de alta estabilidad, de relación 4:1 que entrega un voltaje de 2.5 V. Dicha tensión es aplicada a convertor digital analógico de 16 bits que permite obtener pasos de aproximadamente  $38 \mu\text{V}$  al cambiar el bit menos significativo. Debido a que la idea es lograr un sistema automático, se usa un microcontrolador encargado de variar las señales digitales que se aplican al convertor según información enviada vía comunicación RS232.

El GPSDO entrega una frecuencia estándar de 10 MHz, la cual se compara con la señal del rubidio durante varios días, tiempo necesario para obtener una proyección de la deriva y en función de ésta evaluar el valor de corrección.

Un contador universal se encarga de medir la diferencia de frecuencia entre el GPSDO y reloj de rubidio. Por último, el computador ejecuta un software desarrollado para este propósito el cual se encarga de procesar los valores de diferencia de frecuencia medidos por el contador, calcula la deriva del rubidio utilizando los valores registrados durante varios días y estima la corrección necesaria para mantener dicha variación de frecuencia en el entorno de  $1 \times 10^{-13}$  Hz/Hz. Una vez obtenido el valor de tensión para corregir la frecuencia, se envía la información al microcontrolador para modificar la tensión de control que ajusta la salida del rubidio.

La validación de este sistema se realizará mediante un sistema de seguimiento de frecuencia llamado SIM System. Dicho equipo es parte de un sistema que el SIM (Sistema Interamericano de Metrología) está implantando con los Laboratorios Nacionales de América y que permite el seguimiento on-line de los patrones en dicha magnitud. No es necesario sacarlos del país para calibraciones, tal como ocurre con patrones secundarios en otras magnitudes. Este equipo estaría funcionando próximamente y a partir de este momento estaríamos en condiciones de realizar un relevamiento en tiempo real del comportamiento de nuestro sistema.

## 3. CONCLUSIONES

Este trabajo muestra un método por el cual es posible realizar correcciones en la frecuencia de salida de un reloj atómico de rubidio para mantenerla dentro de un entorno del orden de  $1 \times 10^{-13}$  Hz/Hz. De esta forma se obtiene una salida con un comportamiento de bajo ruido característico de relojes atómicos primarios sin las altas derivas que caracterizan a los relojes de rubidio. El costo del sistema así formado es unas diez veces menor que el costo de relojes primarios de cesio.

## 4. REFERENCIAS

- [1] Principio de funcionamiento relojes atómico de rubidio, Seminario Metrología, febrero 2008
- [2] Manual equipo, Spectratime, modelo GPSource.
- [3] Manual equipo, Spectratime, modelo RMO.

## BIOGRAFÍAS



Leonardo Trigo (M'98) nació en Montevideo, Uruguay, en 1969. Se graduó en Ingeniero Tecnológico en Electrónica, expedido por Instituto Tecnológico Superior en 1993. Desde 1994 se desempeña funciones en el Departamento de Electrotecnia, Subgerencia Laboratorio UTE.



Daniel Slomovitz (M'86-SM'89) nació en Montevideo, Uruguay, en 1952. Recibió el título de Ingeniero Eléctrico en 1977 y Doctor en Ingeniería en 2000, en la Universidad de la República, Uruguay. Actúa como Profesor Catedrático en la misma universidad. En 1977, se incorporó al Laboratorio de UTE como Ayudante de Ing., ocupando actualmente el cargo de Jefe del Laboratorio. Ha llevado a cabo investigación en mediciones de baja frecuencia y alto voltaje, habiendo publicado más de 100 trabajos y el libro "Mediciones Eléctricas" del IEEE.