

# COMPARACIÓN REMOTA DE RELOJES ATÓMICOS MEDIANTE LA RED GPS

D. Luna<sup>1</sup>, D. Pérez<sup>1</sup>, H. Hase<sup>2</sup>, A. Pasquaré<sup>2</sup>.

(1) INTI-Física y Metrología, (2) Observatorio Argentino -Alemán de Geodesia (AGGO)  
luna@inti.gov.ar

## Introducción

Los relojes atómicos constituyen los patrones de tiempo y frecuencia en los Institutos Nacionales de Metrología (INM). Mas allá de su uso en metrología de base, son empleados en campos de la ciencia y la tecnología muy diversos: desde las observaciones en geodesia y radioastronomía, hasta aplicaciones de impacto en la vida diaria como el sincronismo de las redes de telecomunicaciones. Por estos motivos resulta imprescindible poseer herramientas para caracterizar el desempeño de relojes no sólo en los INM, sino en las diversas instituciones que basan sus mediciones en este tipo de referencias. El presente trabajo describe algunos de los desarrollos llevados adelante en conjunto con otros institutos de ciencia y técnica. Descripciones más detalladas y otros estudios pueden encontrarse en [Luna et. al. (2016) y Luna et. al. (2017)].

## Objetivo

El objetivo final de esta propuesta es la generación de una red de relojes que sirva como herramienta para evaluar el desempeño de todas las referencias de tiempo y frecuencia mantenidas en el territorio argentino. Como primer paso para concretar este objetivo, se presenta aquí una descripción de la técnica de medición desarrollada para la comparación remota de relojes.

## Descripción

Mas allá del servicio de posicionamiento, la red GPS se utiliza en el ámbito de la metrología de tiempo y frecuencia como herramienta de comparación remota de relojes. Para este fin existen receptores especialmente diseñados que aceptan señales de reloj externas de un pulso por segundo y una referencia de frecuencia de 10 MHz.

El método de vista común GPS (VC) fue propuesto por D. W. Allan a comienzos de los 80 [Defraigne (2011)]. El principio de esta técnica se muestra en la Figura 1: las estaciones 1 y 2 reciben simultáneamente la señal de sincronización de alguno de los satélites  $j$ ,  $k$ ,  $l$ , etc. Luego se mide la diferencia de tiempo entre la señal recibida y la generada por un reloj local. A partir de las diferencias de

tiempos medidas, por ejemplo con el satélite  $k$ :  $\delta_1^k = t_1 - t_k$  y  $\delta_2^k = t_2 - t_k$  es posible obtener la diferencia de fase entre los relojes 1 y 2 (Ec. 1).

$$\delta t_{12} = (t_1 - t_k) - (t_2 - t_k) = t_1 - t_2 \quad (1)$$

En el presente trabajo se compararon los relojes de cesio de INTI y del Observatorio Argentino-Alemán de Geodesia (AGGO). También se realizó una validación de la técnica de medición.

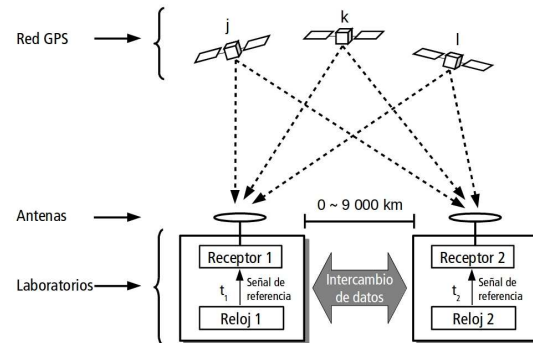


Figura 1: Esquema de una medición mediante la técnica de vista común GPS.

## Resultados

El algoritmo utilizado consiste en una implementación del procedimiento descrito en [Costa (2004)]. Se obtuvieron resultados de diferencias de tiempo cada 2,4 horas (diez valores diarios).

También se validó la técnica contrastando los resultados de comparar dos relojes de INTI mediante VC y mediciones directas.

## Comparación INTI-AGGO

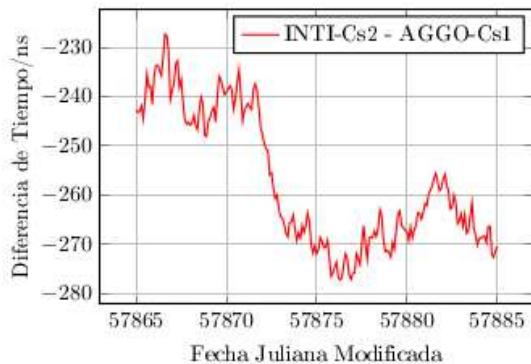
En la Figura 2 se muestran las diferencias de tiempo entre los relojes INTI-Cs2 y AGGO-1 durante 20 días.

A partir de un ajuste lineal de las mediciones se obtiene una pendiente de -1,8 ns/día. Esto es consistente con las especificaciones de los relojes, según las cuales el intervalo de tolerancia es de  $\pm 50$  ns/día.

## Validación de la técnica

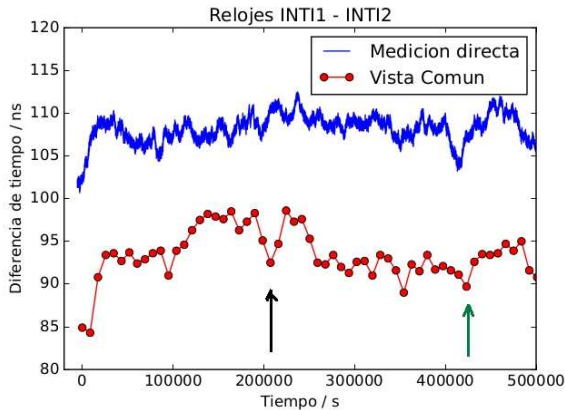
Como validación de la técnica se compararon los dos relojes mantenidos por INTI mediante las técnicas VC y de medición directa (MD), es decir, midiendo con un contador de intervalos

de tiempo las diferencias de fase entre las salidas de los relojes. Los resultados se muestran en la Figura 3.



**Figura 2:** Diferencias de tiempo mediante VC entre relojes INTI y AGGO.

La comparación se extendió por seis días. Puede verse que existe un offset entre las mediciones de alrededor de 15 ns. Esto puede deberse a las calibraciones de los receptores, cuyas incertidumbres son el orden de 20 ns [Lewandoski et. al.]. Las mediciones de VC se muestran cada 2,4 horas, mientras que las mediciones directas son cada un segundo.

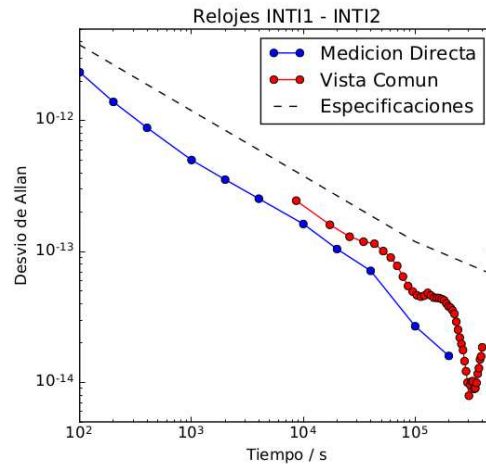


**Figura 3:** Diferencias de tiempo por MD y VC.

Puede notarse que las curvas presentan una tendencia similar, por ejemplo al principio de la comparación. Sin embargo, existen saltos en la medición de VC sin correlato en MD, como en el caso señalado con la flecha negra. También existen variaciones abruptas en MD, que se ven suavizadas en VC debido al promediado temporal (flecha verde).

El ruido presente en las mediciones se cuantificó mediante el uso del desvío de Allan. En la Figura 4 se muestran los desvíos de Allan obtenidos mediante ambas técnicas, junto con

el valor máximo según las especificaciones de los relojes.



**Figura 4:** Desvíos de Allan mediante MD y según VC.

Como era esperable, la comparación por VC agrega un ruido de medición mayor al de la MD. Sin embargo, con ambas técnicas es posible verificar que los relojes se hallan dentro de los valores especificados (línea de puntos).

## Conclusiones

Se efectuaron comparaciones remotas de relojes atómicos mediante la técnica de vista común. El método desarrollado permitió evaluar las estabildades de los relojes involucrados a tiempos de promediado de 2,4 horas. Se validó el método contrastándolo con mediciones directas entre relojes ubicados en un mismo laboratorio. El desarrollo de la técnica de comparación por VC en INTI posibilitará el desarrollo de diversas herramientas, como la calibración remota de relojes, o la comparación de las referencias de INTI con otras de igual desempeño.

## Bibliografía

Costa, R., Orgiazzi, D., Pettiti, V., Sesia, I., & Tavella, P. (2004). GPS Common view data processing algorithm.  *IEN Technical Report*.

Defraigne, P., & Baire, Q. (2011). Combining GPS and GLONASS for time and frequency transfer.  *Advances in Space Research, 47*(2), 265-275.

Lewandowski, W., Matsakis, D., Panfilo, G., & Tavella, P. (2006). The evaluation of uncertainties in [UTC-UTC (k)].  *Metrologia, 43*(3), 278.

Luna, D. A., Pérez, D. N., Palacios, F., & Cifuentes, A. (2016, July). ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN RELOJES ATÓMICOS POR MEDIO DE LA TÉCNICA VISTA COMÚN GPS. In  *ANALES AFA* (Vol. 27, No. 2).

Luna, D., Pérez, D., Cifuentes, A. & Gómez D. (2017, en prensa) Three-Cornered Hat Method via GPS Common-View Comparisons. In  *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*.