
Propuestas de Nuevas Capacidades de Medición y Calibración en Tiempo y Frecuencia

Solís Betancur, Raúl Fernando

CENAMEP AIP

Ciudad de Panamá, Panamá

ORCID 0000-0003-1043-4294

Abstract

Analyzing the capabilities of the highest-level National Metrology Institutes in America, we look to match the CENAMEP AIP Calibration and Measurement Capacities with theirs. Therefore, new capabilities should be developed in the Time Scale Difference branch. For the new capabilities, characterizations of all laboratory equipment were carried out, in conjunction with the validation of the programs used, and the impact of the ionosphere and environmental measurements, in addition to the validation of the capture, analysis and emission methods. results, and incorporating GPS signal interference mitigation techniques. The technical results obtained are satisfactory with respect to the objective uncertainty and with room for improvement. But international recognition depends on external processes such as peer review under the ISO/IEC 17025:2017 standard, so it is expected that by 2030 they will be recognized by other Regional Metrology Organizations in the world.

Keywords: UTC(CNMP), atomic clocks, metrology, time, calibration.

Resumen

Analizando las capacidades de los Institutos Nacionales de Metrología de mayor nivel en América, se buscó igualar las Capacidades de Medición y Calibración del CENAMEP AIP con las de ellos, por lo que se debería desarrollar nuevas capacidades en la rama de Diferencia de Escalas de Tiempo. Para las nuevas capacidades, se realizaron caracterizaciones de todos los equipos de laboratorio, en conjunto con la validación de los programas empleados, y el impacto de la ionósfera y las mediciones ambientales, además de la validación de los métodos de captura, análisis y emisión de resultados, e incorporando técnicas de mitigación de interferencia de señales GPS. Los resultados técnicos obtenidos son satisfactorios con respecto a la incertidumbre objetivo y con espacio para mejora. Pero el reconocimiento internacional depende de procesos externos como es la evaluación por pares bajo la norma ISO/IEC 17025:2017 por lo que se espera que para 2030 sean reconocidas frente a otros

Organismos Regionales de Metrología en el mundo.

Palabras claves: UTC(CNMP), relojes atómicos, metrología, tiempo, calibración.

1. INTRODUCCIÓN

Las Capacidades de Medición y Calibración (CMC) son las mayores expresiones del reconocimiento científico internacional para los Institutos Nacionales de Metrología (INM). Esto es debido a que las CMC son parte fundamental en la trazabilidad de las mediciones, y la base para eliminar fronteras y obstáculos científicos y comerciales. Esto es acordado mediante el reconocimiento del Tratado del Metro, un acuerdo a nivel diplomático entre países firmado desde 20 de mayo de 1875.

El INM de Panamá es el Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP), el cual tiene declaradas CMC en Tiempo y Frecuencia: 1 CMC declarada en la rama de Intervalo de Tiempo (IT) y 9 CMC declaradas en la rama de Frecuencia, en un proceso que inició en el año 2005 y terminó en año 2011. Ya en el año 2016, cuando el CENAMEP AIP se traslada a sus nuevas instalaciones, se desarrollan mejoras en las capacidades técnicas de los laboratorios de Tiempo y Frecuencia, y en vista de los nuevos requisitos en el ámbito de laboratorios secundarios, la logística, la banca, la sincronización de redes de energía y de telecomunicaciones y la seguridad de la infraestructura pública clave, nace la necesidad de desarrollar nuevas CMC que den soporte a este tipo de actividades.

A analizar las CMC de los INM de la región del Sistema Interamericano de Metrología (SIM), se pudo ver que solo los INM de mayor nivel tenían declaradas CMC en la rama de Diferencia de Escala de Tiempo (DET) siendo estos: NIST (Estados Unidos), NRC (Canadá), CENAM (México) y el ONRJ (Brasil). Al analizar que sus CMC que cubrían la demanda de trazabilidad en áreas científicas, industriales, civiles y financieras se realizaron los análisis pertinentes para lograr desarrollar nuevas CMC en Tiempo y Frecuencia que sean comparables con las de ellos y nos permitan dar trazabilidad en esas áreas clave para el país y la región. De este análisis surgió la propuesta de tener nuevas CMC en la rama de DET: Reloj Local vs UTC(CNMP), Reloj Remoto vs UTC(CNMP), Reloj Local vs UTC y Reloj Remoto vs UTC.

2. MÉTODO

A. Análisis de las CMC de los demás INM

Mientras que las CMC en las ramas de IT y Frecuencia son principalmente orientada a equipamiento y sistemas de medida (tanto industrial como científico), la rama de DET tiene un alcance mucho más abarcador, ya que se trata de la comparación directa con la referencia

mundial de tiempo tanto su realización física, el UTC(k), como su estimación global, el UTC. Con estas capacidades no solo se realiza un trabajo científico o industrial (calibraciones de referencias de tiempo y de frecuencia), sino también se cumple normativa técnica y legal en telecomunicaciones, regulaciones financieras (temporización para intercambio de acciones a nivel mundial) y ciberseguridad (sincronización de relojes para temporización de claves y seguimiento del comportamiento).

En la tabla 1, se puede apreciar las CMC correspondientes declaradas por los INM de mayor nivel en el SIM. En términos generales, la capacidad de medición Reloj Local vs UTC(k) es la comparación directa de la realización local del UTC, siendo empleado para calibrar y verificar relojes atómicos. La capacidad de Reloj Local vs UTC es una comparación indirecta empleando proyecciones del UTC(k) y es empleado como método de transferencia para trazabilidad de relojes atómicos locales como método de respaldo a las comparaciones por vista común.

La capacidad de Reloj Remoto vs UTC(k) es una comparación directa a la realización local empleando vista común con sistemas de posicionamiento global o comunicación satelital, siendo usado para calibrar o verificar remotamente relojes atómicos o realizar transferencia de tiempo preciso a usuarios que requieran cumplimiento de regulaciones o normativa que defina diferencias en sincronización. Y la capacidad de Reloj Remoto vs UTC es una comparación indirecta empleando proyecciones del UTC(k) para ser empleado como método de transferencia junto con el método de vista común con sistemas de posicionamiento global o comunicación satelital, usado para calibrar o verificar remotamente relojes atómicos o realizar transferencia de tiempo preciso a usuarios que requieran cumplimiento de regulaciones o normativa que defina diferencias en sincronización.

Tabla 1. Análisis de las CMC de los demás INM junto con los resultados de las estimaciones contra los valores prácticos obtenidos.

INM UTC(k)	Reloj Local vs UTC(k)	Reloj Remoto vs UTC(k)	Reloj Local vs UTC	Reloj Remoto vs UTC
NIST UTC(NIST)	U = 0,5 ns Ventana: 2 horas	U = de [10 a 14] ns Ventana: 1 día	No declara	No declara
NRC UTC(NRC)	U = 2 ns Ventana: 1 s a 1 d	U = 20 ns Ventana: 1 día	U = 50 ns Ventana: 1 s a 5 días	U = 50 ns Ventana: 1 día
CENAM UTC(CNM)	U = 2 ns Ventana: 1 horas	U = 15 ns Ventana: 1 día	Extrapolación: 40 días U = 20 ns	U = 25 ns Ventana: 5 días
ONRJ UTC(ONRJ)	U = 1 ns Ventana: 1 hora	No declara	U = 47 ns Ventana: 5 días	No declara
			Extrapolación: 30 días	

INM UTC(k)	Reloj Local vs UTC(k)	Reloj Remoto vs UTC(k)	Reloj Local vs UTC	Reloj Remoto vs UTC
CNMP UTC(CNMP)	U = 10 ns Ventana = 1 día	U = 30 ns Ventana = 1 día	U = 40 ns Ventana = 5 días Extrapolación: 45 días	U = 50 ns Ventana = 5 días Extrapolación: 45 días

Se puede apreciar que no todos los INM cubren todos los servicios, y que sus especificaciones de trabajo (ventana de observación e Incertidumbre de calibración, U) son diferentes. Por ello, se realizó un análisis de las especificaciones técnicas de los equipamientos de los laboratorios para establecer las incertidumbres objetivo, con el propósito de corroborar si era técnicamente factible no solo alcanzarlas, sino mantenerlas. Hay que mencionar que todas las incertidumbres U tienen un intervalo de confianza del 95% con un factor de cobertura $k = 2$, según requisito de la Guía para la Estimación de la Incertidumbre de Medida (GUM).

Para el desarrollo de la especificaciones de las propuestas de las nuevas CMCs se trabajó en la caracterización de los receptores GNSS [1], la calibración de retrasos de cables, la caracterización de retrasos de los contadores de intervalos de tiempo, la caracterización de los distribuidores de señales, el diseño y la validación de los programas empleados, el impacto de la ionósfera y las mediciones ambientales (temperatura, humedad y presión interna como externa), la caracterización de los Patrones Nacionales de Tiempo y Frecuencia, el análisis histórico del UTC(CNMP), la validación de los métodos de captura, análisis y emisión de resultados y, con énfasis, las técnicas de mitigación de interferencia de señales GPS. En la tabla 1 se muestra el resultado teórico del establecimiento de las incertidumbres para las nuevas CMC.

B. Caracterización del equipamiento

Para caracterizar el UTC(CNMP) se comparó con las otras realizaciones de los INM descritos en la tabla 1. Los resultados obtenidos directamente de la Circular T (desde la número 396 hasta la número 425) [2] muestran que las diferencias son menores a ± 25 ns el 98% del tiempo en ese periodo. También se aplicó la Varianza de Allan, la Varianza de Tiempo y la técnica del *Three Corneret Hat* para obtener las estabilidades absolutas de los Patrones Atómicos de Tiempo y Frecuencia y con ello poder realizar las predicciones a 45 días, todo esto bajo el sistema de gestión del Laboratorio Primario de Tiempo y Frecuencia [3].

Los contadores de intervalos de tiempo fueron caracterizados empleando la misma técnica con la que se calibran los cables, ya que con ello se eliminan diferencias sistemáticas entre cables y conectores y se permite obtener valores más realistas. Mientas que en la Fig. 1 a) se muestra la técnica de calibración local de relojes y en la Fig. 1 b) se muestra la técnica de calibración de relojes remotos, también empleada para calibrar receptores GPS [4].

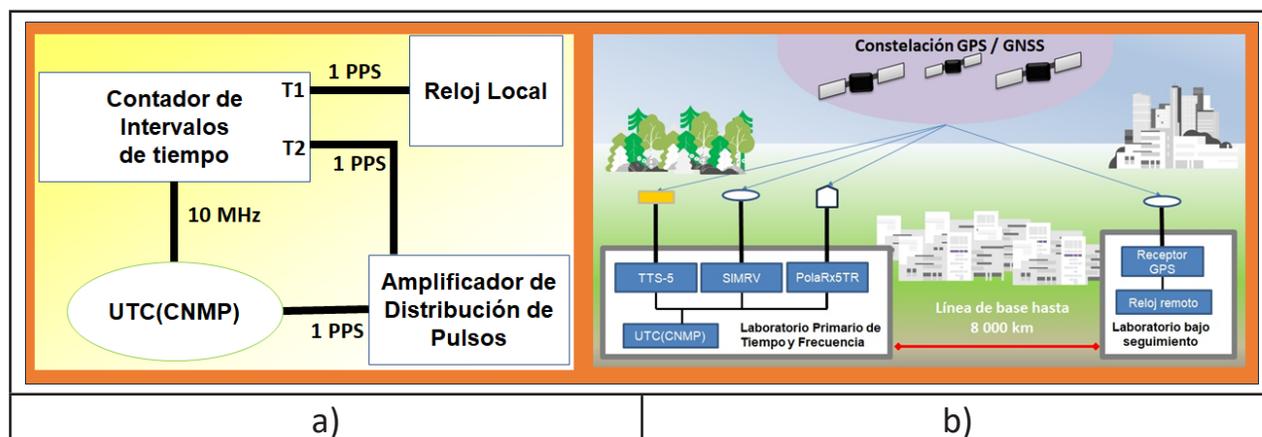


Fig. 2. Esquema de los métodos de adquisición de los datos para relojes locales y relojes remotos.

También se emplearon datos de la Red de Comparaciones Bilaterales del SIM [5] y los resultados de la Comparación Clave que define el UTC.

C. Posicionamiento y mitigación de interferencias

El posicionamiento de las antenas se realizó empleando mediciones basadas en una frecuencia usando el mismo receptor GPS y dos frecuencias usando el receptor GNSS. En ambos casos se tomaron datos por más de 3 días y los archivos fueron procesados por el *Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning (CSRS-PPP) Geodetic tools and data* [6]. Para la mitigación de interferencias se empleó una antena tipo *Choke-Ring* en conjunto con mediciones y el filtro integrado de un receptor GNSS para modelar el comportamiento típico y así obtener datos de referencia para analizar comportamientos parecidos en el futuro, y descartar causas de origen.

3. RESULTADOS

Los resultados de la caracterización de los sistemas, el posicionamiento y demás elementos que ejercen principalmente aporte o son elemento crucial en las mediciones, son mostrados en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de la caracterización de los principales elementos de aporte de incertidumbre.

CMC relacionadas	Fuente de incertidumbre	Valor mínimo (ns)	Valor Máximo (ns)
UTC(CNMP) y UTC: Todos	Calibración de retrasos de cables	0,25	0,25
UTC(CNMP) y UTC: Reloj Local	Contador de pulsos	0,01	0,15
UTC(CNMP) y UTC: Reloj Local	Error por Distribuidor de Pulsos	0,25	0,25
UTC(CNMP) y UTC: Reloj Remoto	Calibración receptor GPS	9,0	9,0
UTC(CNMP) y UTC: Reloj Remoto	Estabilidad de medida del receptor	1,0	5,0

CMC relacionadas	Fuente de incertidumbre	Valor mínimo (ns)	Valor Máximo (ns)
UTC: Reloj Local y Reloj Remoto	Enlace [UTC – UTC(CNMP)]	5,3	10
UTC(CNMP) y UTC: Reloj Remoto	Error por coordenadas	0,1	25
UTC(CNMP) y UTC: Reloj Remoto	Error por <i>Multipath</i>	0,4	5,0
UTC(CNMP) y UTC: Reloj Remoto	Error por Ionósfera	0,1	3,0
UTC(CNMP) y UTC: Reloj Remoto	Error por Atmósfera/Tropósfera	0,1	3,0
UTC(CNMP) y UTC: Todos	Estabilidad UTC(CNMP)	0,7	7,0

Se puede apreciar que, para la capacidad de Reloj Remoto tanto contra UTC(CNMP) como contra UTC, el componente de “Error por coordenadas” ejerce uno de los mayores pesos, y esto es debido a que, al usar una frecuencia, el error por altura (error por ionósfera y troposfera) es el más alto. Después de la caracterización de los equipos, se aplicó la GUM para estimar las incertidumbres para las capacidades buscadas y los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de las estimaciones contra los valores prácticos obtenidos.

	Reloj Local vs UTC(k)	Reloj Remoto vs UTC(k)	Reloj Local vs UTC	Reloj Remoto vs UTC
Incertidumbre obtenida	[1,8 a 9,3] ns	[13 a 34] ns	[18 a 35] ns	[26 a 44] ns
Ventana de observación / Promedio de datos	1 s a 1 día	1 día	5 días con predicción a 45 días	5 días con predicción a 45 días

4. CONCLUSIONES

Al analizar los resultados, concluimos que los laboratorios de Tiempo y Frecuencia del CENAMEP AIP tienen la capacidad para soportar 4 nuevas CMC en la rama de DET. Esto no solo deriva en la posibilidad de nuevos servicios de calibración/verificación bajo la Norma ISO/IEC 17025:2017, sino que abre el espacio para nuevas áreas de investigación, que den soporte a la temporización dentro de la infraestructura pública clave (por ejemplo, transferencias de tiempo seguro y auditorías de temporización en redes de nueva generación), cumplimiento con reglamentación financiera (Regulación Americana de la SEC y FINRA y la Regulación Europea *MIFID II*). Con todo esto se espera que se mantenga al Laboratorio Primario de Tiempo y Frecuencia del CENAMEP AIP como referente metrológico en la región ayudando a fortalecer a Panamá como el Hub de las Ciencias.

REFERENCIAS

- [1] R. Solis, “Traceability to UTC Using the SIM Time Network Bilateral Comparisons,” 2018 Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM 2018), 2018, pp. 1-2, doi: 10.1109/CPEM.2018.8500913.
- [2] “BIPM technical services: Time Metrology”. BIPM. Accedido el 20 de mayo de 2023. [En línea].

Disponible: <https://www.bipm.org/en/time-metrology>

- [3] Solís Betancur, R. F. (2016). Desarrollo de un Sistema para la Gestión de la Información para el Laboratorio Primario de Tiempo y Frecuencia. En Simposio de Metrología 2016 (pp. 213–214). CENAM. <https://www.cenam.mx/memorias/>
- [4] Yeh, Ta-Kang & Wang, C & Lee, C & Liou, Yuei-An. (2006). Construction and uncertainty evaluation of a calibration system for GPS receivers. *Metrologia*. 43. 451. 10.1088/0026-1394/43/5/017
- [5] J. M López-Romero, M. Lombardi, E. de Carlos-López, N. Diaz-Muñoz, C. A. Ortiz, R. de Carvalho, R. Solís, “Comparison of the multi-national SIM time scale to UTC and UTCr”, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, doi: 10.1109/TIM.2019.2943991, Julio 2020.
- [6] “Geodetic tools and data”. Language selection - Natural Resources Canada / Sélection de la langue - Ressources naturelles Canada. Accedido el 20 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible: <https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-and-publications/geodetic-reference-systems/data/10923>

AUTORIZACIÓN Y LICENCIA CC

Los autores autorizan a APANAC XIX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

Ni APANAC XIX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.