

# REALIZACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA HORA UTC EN PANAMÁ

**Raúl. F. Solís, Luis. A. Mojica**

Centro Nacional de Metrología de Panamá AIP, Ciudad del Saber, Panamá.  
rsolis@cenamep.org.pa, lmojica@cenamep.org.pa

## Resumen

Como parte de una estrategia de lograr el reconocimiento internacional desde el punto de vista metrológico a corto plazo, el Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP), adquirió dos patrones de Cesio 133, los cuales se han venido comparando mediante la red de posicionamiento global (GPS) desde el año 2003. La realización local del UTC, llamada UTC(CNMP), es realizada cada segundo por los 365 días del año de manera ininterrumpida con los más de 70 laboratorios de tiempo y frecuencia alrededor del mundo, y es coordinada por el Buró Internacional de Pesas y Medidas (BIPM), y de manera regional el Sistema Interamericano de Metrología (SIM).

**Keywords:** UTC(CNMP), Panamá, CENAMEP, Metrología de Tiempo y Frecuencia.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde 1970, llegó la era atómica del tiempo con la definición del segundo en base a la transición atómica del átomo de Cesio 133 [1]. Con esta nueva definición del segundo, se establece el Tiempo Atómico Internacional (TAI) y con ello la base del Tiempo Universal Coordinado conocido como UTC, el cual es coordinado por el BIPM mediante la implementación de una escala de tiempo ponderada de la comparación vía vista común (Figura 2) de las señales de tiempo de los distintos laboratorios participantes los cuales se denominan como UTC(k). Esta comparación está incluida en el Arreglo de Reconocimiento Mutuo (MRA) [2].

En Panamá, la realización del tiempo atómico se introdujo al adquirir dos patrones de Cesio 133 de bajo desempeño en septiembre del año 2003, bajo la administración de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT), la cual pensando que la introducción de una referencia de tiempo de alta estabilidad sería de gran importancia estratégica para un país cuyo crecimiento económico estaba basado en la prestación de servicios.



Figura 1. Laboratorio de Tiempo y Frecuencia del CENAMEP AIP.



Figura 2. Comparación por vista común.

En octubre de 2003, al designar un patrón como el reloj maestro y el segundo como el testigo, se procedió a reportar los resultados de las comparaciones realizadas [3] a través del sistema Time Transfer System (TTS-2) a la Sección de Tiempo del BIPM. Pero por la falta de experiencia en el manejo de estos equipos, la realización y el mantenimiento se basó únicamente en mantener la estabilidad de UTC(CNMP) y no su exactitud, ya que como el resultado de las comparaciones se obtenían una vez al mes mediante la Circular T se requería de un trabajo de predicción del comportamiento de la señal más avanzado del que se poseía, por lo que se acumularon hasta noviembre de 2006 cerca de 6 000 ns (figura 3).

Ya en el año 2009, el Ministerio de Comercio e Industrias declara a los patrones atómicos que mantiene el CENAMEP como los Patrones Nacionales de Tiempo y Frecuencia (PNTF) de la República de Panamá [4]. Y en el año 2010 se declara la hora mantenida por ellos como la Hora Oficial del Gobierno Nacional [5].

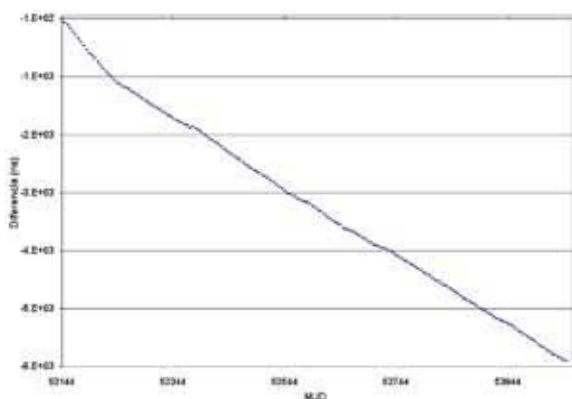


Figura 3. UTC(CNMP) entre las fechas MJD (Día Juliano Modificado) 53144 y al 54049.

Por el hecho de aportar a la realización de UTC (la cual solo se puede participar con patrones atómicos de Cesio o de mejor clase) y, además, de ser uno de los primeros laboratorio de tiempo y frecuencia de la región SIM en publicar sus Capacidades de Medición y Calibración o CMC [6], hizo que Canadá, Estados Unidos y México, invitaran a Panamá a formar parte de un nuevo sistema de comparaciones en tiempo real en diciembre de 2005, donándole un receptor GPS multicanal, colocando a Panamá en el cuarto país en incorporarse al nuevo proyecto, el cual permitiría sincronizar los patrones de tiempo y frecuencia de todo el continente americano [7] sin importar su

naturaleza (pudiendo incorporar patrones atómicos de rubidio y darle trazabilidad en la unidad del segundo a los laboratorios que no pudieran adquirir un reloj de Cesio) dentro del proyecto llamado SIM Time and Frequency Network (SIMTFN) [8].

Con este nuevo sistema, se podía obtener la diferencia de tiempo entre UTC(CNMP) y los laboratorios de la red en tan solo 10 minutos, a diferencia del mes que había que esperar para obtener los resultados en la Circular T (algo muy ventajoso si no se tiene mucha experiencia manipulando patrones atómicos ni escalas de tiempo). Esta ventajosa situación pudo hacer que se conocieran en corto plazo las características de estabilidad y exactitud, lo que permitieron realizar correcciones en la frecuencia del reloj maestro y mejorar los niveles de exactitud, pero pudiendo llegarse a sacrificar la estabilidad si la corrección es muy grande o se realizan en repetidas ocasiones en cortos plazos de tiempo.

Al poseer los dos sistemas de comparaciones, el TTS-2 y el SIMTFN, y un historial de mediciones equivalente entre ambos sistemas (diferencias promedio de 10 ns), se pudo llegar a utilizar lo mejor de ambos sistemas de comparaciones. Utilizando el TTS-2 del BIPM se puede realizar comparaciones con los más de 70 laboratorios alrededor del mundo lo que permite obtener mejores lecturas de estabilidad a largo plazo (y la diferencia oficial entre UTC(CNMP) y el UTC que es la principal fuente de trazabilidad para laboratorios de tiempo y frecuencia que están dentro del MRA), y al utilizar el SIMTFN se puede seguir el comportamiento de UTC(CNMP), definida para la red como el SIMT(CNMP), para mejorar los niveles de exactitud a corto plazo usando la metodología de una red de comparación redundante y complementada, lo que mejora la participación de los laboratorios latinoamericanos que no tienen mucha experiencia en el área del mantenimiento del tiempo [9].

Gracias a los encuentros realizados y los talleres del grupo de trabajo de tiempo y frecuencia y al entrenamiento y apoyo que se le dio al personal técnico de CENAMEP por la división de tiempo y frecuencia del CENAM, se logró mejorar el conocimiento del uso del SIMTFN para mantener los patrones de tiempo y frecuencia, por lo que en noviembre de 2006 se procedió a realizar la primera corrección en

la frecuencia del reloj maestro para lograr reducir la diferencia de tiempo de UTC(CNMP), y así seguir lo recomendado por el BIPM de mantener una diferencia de tiempo menor a  $\pm 100$  ns [10], posteriormente se han logrado realizar sucesivas correcciones para mantenerla lo más posible dentro de lo recomendado.

## 2. REALIZACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL UTC(CNMP)

Antes de iniciar los procesos de comparaciones en 2003, se procedió a establecer las coordenadas geográficas de la ubicación de la antena del receptor GPS multicanal para realizar las comparaciones por vista común mediante GPS y, cuyas coordenadas fueron:

- Latitud:  $9^{\circ} 0' 13,3087''$  Norte
- Longitud:  $280^{\circ} 24' 56,4097''$  Este
- Altitud de la antena: 36,00 m.

Una vez establecidas las coordenadas geográficas e instalando la antena receptora GPS, se configuró el receptor con respecto a las coordenadas obtenidas (un error de 1 m representa un error de 3,34 ns en la medición). Después de configurar el receptor GPS, se procedió a sincronizar el reloj maestro con la señal de tiempo de 1 pulso por segundo (1 PPS) proveniente de un generador de tiempo y frecuencia disciplinado por GPS, cuya incertidumbre total (incluyendo antena, cables y procesamiento de la señal) era de  $\pm 110$  ns. Una vez sincronizado el reloj maestro se procedió con su señal de 1 PPS a sincronizar el reloj testigo.

Cuando ya se tenían el reloj testigo disciplinado, se procedió a conectar la señal de 1 PPS y la señal de 10 MHz al TTS-2, el cual ya había sido calibrado [11]. Los datos de las comparaciones con los satélites GPS se obtienen cada 7 días, las cuales son analizadas antes de enviarlos al servidor de archivos de la Sección de Tiempo en el BIPM. De esta manera Panamá obtenía trazabilidad en tiempo y frecuencia de la realización primaria del segundo, con una diferencia de tiempo con respecto a UTC de manera acumulativa cercano a  $-10$  ns/día, y una incertidumbre de tiempo de  $\pm 16,4$  ns ( $k=2$ ), por lo que oficialmente se reconocía la realización de UTC(CNMP) y su contribución con UTC y el Tiempo Atómico Internacional (TAI) frente al BIPM por parte de la República de Panamá, mediante el CENAMEP.

Ya en el año 2006, al haberse inscrito en el apéndice C del BIPM, la CMC del CENAMEP en tiempo y frecuencia, se procedió a utilizar el sistema SIMTFN para establecer la forma en que se realizarían las correcciones directamente en la frecuencia del reloj maestro (permite correcciones de frecuencia con pasos de  $\pm 6,3 \times 10^{-15}$  Hz/Hz) y su posterior seguimiento.

Antes de realizar la corrección se sincroniza nuevamente el reloj testigo para poder rescatar la diferencia de tiempo en caso de algún contratiempo. Esta corrección se estableció la primera vez para disminuir la diferencia de  $\pm 6003,5$  ns a un valor aproximado a 0 ns en un periodo de 30 días (figura 3). El valor utilizado para realizar dicha corrección se calculó utilizando el desvío fraccional de frecuencia mostrado en la siguiente relación:

$$\frac{\Delta f}{f} = - \frac{\Delta t}{t} \quad (1).$$

El resultado obtenido del valor de la pendiente fue de 197,5 ns/día y se estableció el Día Juliano Modificado (MJD) 54052. En el día MJD 54084, nuevamente utilizando la relación (1), se le ingresó una pendiente de  $-6,7$  ns/día para estabilizar la diferencia de tiempo que mantenía y así estar dentro de la recomendación del BIPM para el mantenimiento de UTC. Todas estas correcciones se le informaron a la Sección de Tiempo del BIPM como parte de la responsabilidad del laboratorio frente al mantenimiento de las escalas de tiempo UTC y el TAI. Esta variación de frecuencia hizo que la estabilidad del reloj maestro frente al BIPM cayera (la predictibilidad del reloj desapareció). Esto es porque el algoritmo que calcula UTC es afectado por variaciones de tiempo tan grandes por lo que se le baja el peso ponderado para evitar causar alteraciones en la estimación de UTC.

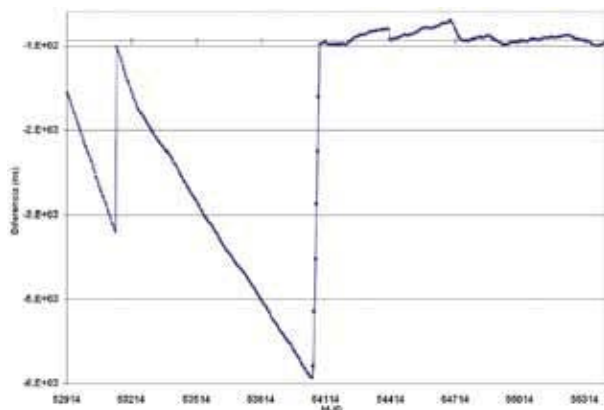


Figura 4. Comportamiento de UTC(CNMP) desde su inicio el 10/02/2003 (MJD 52914) hasta el 07/27/2010 (MJD 55404).

Con la diferencia de tiempo llevada a niveles aceptables, y después de corregir el error sistemático se procedió a establecer nuevamente la forma que se establecería las correcciones, las cuales serían llevadas para lograr la mayor relación entre la exactitud y la estabilidad del patrón para sostener la realización de UTC(CNMP). Estas correcciones se realizarían con la pendiente que mantuviera la diferencia de tiempo en un periodo de 20 días, cuando la diferencia de tiempo alcanzara cerca de los  $\pm 90$  ns con respecto a UTC (Figura 4).

En el momento en que se llegara a la diferencia de tiempo establecida, se procedería a realizar la corrección, siempre reportando a la Sección de Tiempo sobre cualquier cambio y siempre tratando que el valor no sobrepase el valor de  $\pm 2$  ns/día (variación de frecuencia cercana a  $\pm 23 \times 10^{-15}$  Hz/Hz). Con la implementación de este mecanismo se pretende sólo realizar correcciones cada 4 a 5 meses y lograr disminuir el nivel de la inestabilidad de la realización de UTC(CNMP), mientras se ponía en funcionamiento un generador de corrimiento de fase y frecuencia (básicamente aprender a utilizarlo correctamente).

La evaluación de los resultados se realiza mediante la Varianza de Allan (relación 2) que brinda información sobre la estabilidad del reloj maestro, y la Desviación de Tiempo (relación 3) que nos permite obtener la información valiosa de la realización de UTC(CNMP),

$$\sigma_y^2(\tau) = \frac{1}{2(N-2m)\tau^2} \sum_{i=1}^{N-2m} (x_{i+2m} - 2x_{i+m} + x_i)^2 \quad (2)$$

Donde:

- $\sigma_y^2(\tau)$ : representa la varianza de Allan de la fase de la señal analizada en el tiempo de observación  $\tau$  utilizado.
- $N$ : representa el número de muestras utilizadas
- $m$ : representa el factor de integración en el tiempo
- $x_i$ : representa la muestra de fase en la  $i$ -ésima posición

$$TVAR^2(\tau) = \frac{\tau^2}{3} MOD\sigma_y^2(\tau) \quad (3)$$

Donde:

- $TVAR^2(\tau)$ : representa la varianza de tiempo de la fase de la señal analizada en el tiempo de observación  $\tau$  utilizado.
- $MOD\sigma_y^2(\tau)$ : representa la varianza de Allan Modificada de la fase de la señal analizada en el tiempo de observación  $\tau$  utilizado. Como la varianza de Allan y la varianza de Allan modificada difieren solamente por el promedio de los puntos  $m$  adyacentes, esto hace que cuando  $m=1$  la varianza modificada de Allan coincida con la varianza de Allan [12].

Paralelamente a estas acciones, también se lleva a cabo un programa de verificaciones y registros mensuales de todos los componentes que actúan en la realización de UTC(CNMP) como es el caso de comportamiento electrónico de los patrones, receptores GPS, distribuidores de señales, cables y conectores, programas de captura y análisis de los datos y, también, el respaldo de energía de los equipos ya que una interrupción (caídas de voltajes, cables rotos, falsos contactos, pérdida de los datos de medición, etc.) en la continuidad de los datos, afecta la estabilidad de su desarrollo.

### 3. RESULTADOS

Al aplicar las correcciones, se pueden apreciar mejoras en el desempeño del reloj maestro, y por consiguiente en la realización de UTC(CNMP). También se pudo lograr una disminución notable en la diferencia de tiempo UTC-UTC(CNMP), como se indica en la Tabla 1, lo que permitió determinar nuevas fuentes



de ruido en la señal (variaciones en la temperatura del laboratorio, posicionamiento de la antena GPS, interferencias de equipos de medición dentro del mismo gabinete que los de generación de señales, vibraciones mecánicas por la manipulación de los equipos y sistemas circundantes) las cuales se procedieron a minimizar (se instaló un nuevo sistema de aire acondicionado, se adquirió un nuevo gabinete para los equipos de medición y otro para los de generación y se procedió a limitar el acceso al laboratorio solamente para el personal del laboratorio de tiempo y frecuencia).

Después de realizar las correcciones de la señal y las mejoras a la infraestructura del laboratorio, se pudo apreciar que la exactitud de la señal y su estabilidad a corto plazo mejoraban, aunque su estabilidad a largo plazo quedó comprometida con las correcciones que se le realicen al reloj maestro. Los resultados de estos análisis se muestran en la Tabla 1 y las Figuras 5 y 6, las cuales son comparaciones a 100 días en retrospectiva a partir del 1ro de octubre de cada año mencionado.

Año	Diferencia de tiempo con respecto al UTC [ns]	$\frac{\Delta f}{f}$ [Hz/Hz]
2006	-5471,9	-6,85E-14
2007	157,01	1,24E-14
2009	-8,88	3,74E-15

Tabla 1. Evolución de UTC(CNMP) en tres diferentes años.

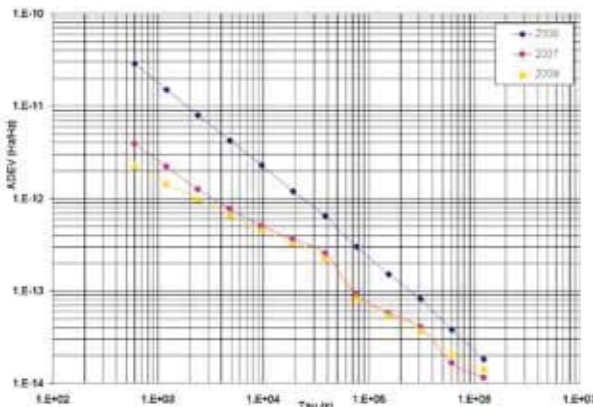


Figura 5. Estabilidad de la frecuencia.

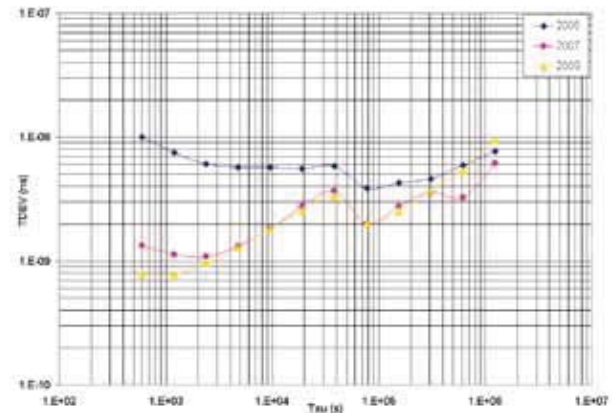


Figura 6. Estabilidad de la señal de tiempo.

#### 4. DISCUSIÓN

En esta discusión podemos presentar, por los resultados obtenidos y lo expresado anteriormente, lo siguiente:

##### 4.1 Influencias del entorno sobre la realización.

A pesar de que el laboratorio se considera que está sobre el nivel del mar y sin demasiadas fuentes de perturbaciones en la gravedad (no hay grandes macizos montañosos cerca) las variaciones de temperatura y humedad afectan el desempeño de las mediciones a corto y largo plazo, tanto de los instrumentos dentro del laboratorio como de los que están expuestos a la intemperie. También las vibraciones mecánicas llegan a afectar la estabilidad (internamente los relojes atómicos mantienen cuarzoes disciplinados en su interior) de la señal, por lo que el control del acceso del reloj maestro siempre debe estar restringido a personal competente en su manejo, alejados de cualquier influencia de tránsito (si están en un cuarto aparte de los servicios de calibración y diseminación mejor aún) y se debe utilizar todas las herramientas disponibles como es el caso de la automatización de la supervisión de los parámetros internos de cada equipo (temperatura interna de los patrones, condiciones de operación, etc.).

##### 4.2 Competencias del personal del laboratorio

La realización y el mantenimiento de la Hora Nacional, en conjunto con la prestación de servicios de calibración y diseminación de la Hora Nacional, hacen que se requieran altos niveles de conocimiento para poder llevar a cabo

estas tareas, y lastimosamente hasta que no se comenzaron a realizar estancias profesionales de varias semanas en laboratorios de primer nivel (octubre de 2006), no se pudo adquirir el conocimiento necesario para implementar un manejo adecuado de patrones atómicos y de los equipos que intervienen en la realización y diseminación de UTC(CNMP).

Este conocimiento adquirido permitió elevar el nivel técnico del laboratorio al nivel que se requiere para el mantenimiento de los patrones atómicos y de los servicios que dependen de ellos. Esto quedó en evidencia cuando una de las señales de frecuencia de uno de los patrones comenzó a mostrar anomalías, lo que permitió tomar las acciones pertinentes para mantener la realización de UTC(CNMP).

Por lo que la constante capacitación y comunicación con los pares en la región del SIM, como en las distintas regiones (incluyendo al BIPM) son necesarias para perfeccionar los conocimientos y generar nuevas soluciones a los problemas que se presentan, ya que por ser realizaciones primarias de la unidad, el nivel de conocimientos requeridos para el mantenimiento del tiempo es muy elevado, por lo que el estudio continuo es recomendado y si es posible, adquirir nuevos conocimientos más profundos en estudios doctorales. Como ejemplo de ello se puede apreciar la aplicación del conocimiento adquirido a lo largo de 7 años en las Figuras 7, 8, 9 y 10.

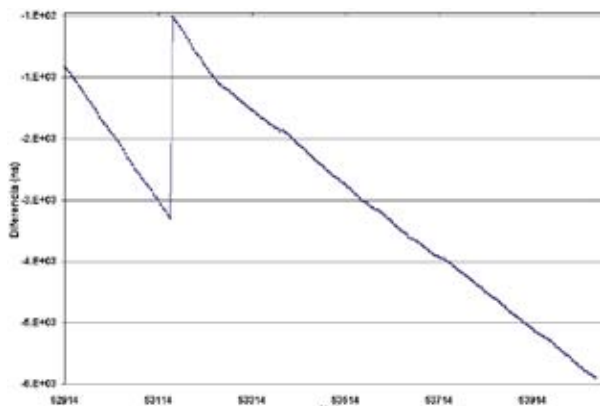


Figura 7. UTC(CNMP) desde 52914 MJD hasta el 54049 MJD.

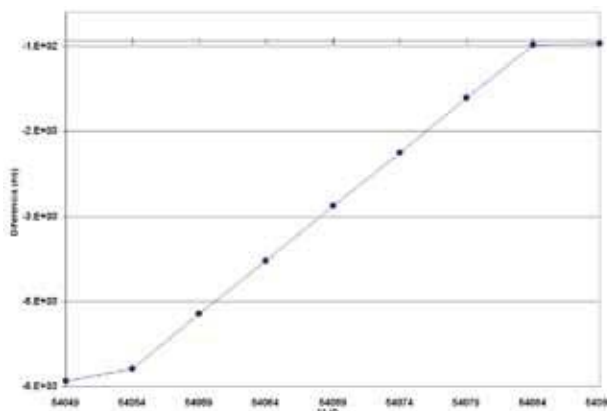


Figura 8. UTC(CNMP) desde 54049 MJD hasta el 54089 MJD.



Figura 9. UTC(CNMP) desde 54084 MJD hasta el 54739 MJD.



Figura 10. UTC(CNMP) desde 54744 MJD hasta el 55404 MJD.

### 4.3 La supervisión continua es primordial.

Por la naturaleza de las mediciones realizadas (cada segundo las 24 horas del día, los 365 días del año) es necesaria una completa

supervisión de todos los componentes involucrados. La automatización de todos los procesos debe darse para disminuir la incidencia de errores humanos, y darle una autonomía plena a los sistemas para así lograr mejoras en su desempeño. Estas automatizaciones deben realizarse de manera progresiva, modular y siempre validándolas, de manera que se complementen todos los elementos en un completo sistema de realización, supervisión y mantenimiento de manera óptima e integral.

#### 4.4. Las escalas de tiempo son el siguiente paso.

Por lo visto y analizado, el paso más lógico que se debe implementar para mejorar el desempeño de la realización de UTC(CNMP) son las escalas de tiempo locales. Con la implementación de una escala de tiempo se pueden mejorar significativamente los parámetros de estabilidad, exactitud e incertidumbre de UTC(CNMP), ya que el nivel actual de mantenimiento y realización mantiene un piso que no puede ser superado sin excluir al componente humano, y sin el conocimiento de las estabilidades absolutas de cada patrón no se podrá lograr escoger cual realmente tiene mejor estabilidades a corto y largo plazo.

#### 4.5. Se posibilita diseminar la hora de Panamá.

Con toda esta información recopilada, se han podido desarrollar proyectos paralelos para diseminar la hora, como es el caso del reloj Web, la sincronización mediante el protocolo NTP y el Servidor de Tiempo por Voz (desarrollado en colaboración por el CENAM). De estos servicios de diseminación del tiempo se puede apreciar que han tenido un incremento significativo en su utilización ya que desde el año 2009 (cuyo alcance va desde marzo hasta diciembre y siendo el año en que se comenzaron a incorporar los servicios de diseminación de la hora), y comparándolos con los datos obtenidos solamente en el primer semestre de 2010, se ha tenido una evolución muy favorable del uso de estos servicios y que puede traducirse en un mayor impacto del laboratorio de tiempo y frecuencia en la sociedad y, por lo tanto, en la economía del país.

Servicio de diseminación por	2009	2010	Variación
Reloj Web (visitas)	89 390	99 531	+11.3 %
Voz (llamadas)	1 913	2 088	+9.2 %
Red (pedidos de sincronización)	363 744	1 018 080	+179.9 %

Tabla 2. Comparación del número de solicitudes en los servicios de diseminación de la hora.

Esto trae como resultado la necesidad de mejorar las capacidades de mediciones y calibraciones del laboratorio de tiempo y frecuencia, mejorando los servicios actuales e incorporando nuevos servicios de calibración y pensando en nuevas maneras de lograr un mejor alcance en la diseminación de la Hora Oficial de Panamá.

#### 4.6 Tiempos sincronizados, procesos optimizados.

Al mantener UTC(CNMP) dentro de lo recomendado por el BIPM, se logra establecer una hora acorde con lo mantenido a nivel mundial (y más si estamos hablando de un mundo globalizado conectados a través del Internet, donde los tiempos de retraso en las comunicaciones están en el orden de los milisegundos), lo que hace que muchos de los procesos productivos de la República de Panamá se han podido beneficiar al poder acceder a una referencia de tiempo confiable y globalizada.

Esto es apreciado en el caso del portal de licitaciones públicas Panamá Compras, el cual trabaja con tiempos fijos para tramitar los documentos físicos y electrónicos en los cuales los proveedores y oferentes de bienes y servicios nacionales como internacionales deben presentar sus ofertas y en el pasado había muchas impugnaciones al proceso de compra porque muchos de los proponentes aducían que mandaban los documentos en la hora estipulada (en Panamá es común tener variaciones hasta de 10 minutos entre personas y empresas). O en el caso del sistema judicial, el cual con la implementación del nuevo sistema acusatorio se dan términos de tiempo para exponer la información para tramitar los casos los cuales deben cumplirse o de lo contrario los casos se desestiman. También la

Superintendencia de Bancos normaliza los horarios de atención de la zona bancaria del país (una de las zonas bancarias más desarrolladas de Latinoamérica) y basa su hora con respecto a la hora generada por el CENAMEP.

## 5. CONCLUSIONES

Desde el inicio de los reportes del laboratorio de tiempo y frecuencia del CENAMEP en 2003, se ha logrado mantener la realización de UTC(CNMP) cada vez más dentro de la recomendación del BIPM, primero en rangos de  $\pm 400$  ns y posteriormente cuando se adquirieron nuevos conocimientos, dentro del rango de  $\pm 100$  ns. También se logró disminuir la incertidumbre de la realización de UTC(CNMP) y se obtuvo reconocimiento internacional en el área de tiempo y frecuencia, como uno de los países latinoamericanos que han aportado al desarrollo del SIMTFN.

Gracias a las auditorias realizadas por los colegas del NRC, NIST, CENAM y el ONRJ se ha logrado optimizar el programa de mantenimiento preventivo que permite disminuir la posibilidad de fallas en el sistema, lograr la mejora en la supervisión de los sistemas de generación, control y diseminación y lograr utilizar nuevas herramientas en el control de los datos obtenidos por la comparación internacional y la comparación local de los patrones. Esto ha permitido establecer confianza en los mecanismos de diseminación de la hora de manera nacional e internacionalmente.

Como parte de los planes futuros para mejorar la realización de UTC(CNMP) se plantea relocalizar la antena GPS para lograr disminuir los rebotes de las señales y mejorar la visibilidad de los satélites. Además se planea para antes que finalice el año 2010 la incorporación de un generador de corrimientos de fase y de frecuencia (corrimientos de frecuencia por debajo de  $1 \times 10^{-16}$  Hz/Hz), y un comparador de fase de doble mezclado (resolución de 1 fs), con lo que se podrá establecer una escala de tiempo local que permitiría mejorar la relación entre la exactitud y la estabilidad de UTC(CNMP), disminuyendo aún más la incertidumbre, y permitiendo una futura creación de una escala de tiempo local conocida como el Tiempo Atómico de CENAMEP, el TA(CNMP), lo

que permitirá ampliar la oferta de servicios a la industria, el sector educativo y gubernamental, y por supuesto al público en general.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Se le agradece al Dr. José Mauricio López Romero, presidente del grupo de tiempo y frecuencia del SIM, por la revisión de este documento.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BIPM, 13o. Comité General de Pesas y Medidas, Por el cual se acoge la nueva definición del segundo, *Resolución 1 del CGPM*, 1967/68.

[2] BIPM key comparison database, "CCTF-K001.UTC: Calculation of the reference time scale UTC (Coordinated Universal Time)", ongoing, <http://www.bipm.org/en/cipm-mra/>.

[3] BIPM, Circular T, acceso electrónico de la base de datos, <http://www.bipm.org/en/scientific/tfg/>

[4] Ministerio de Comercio e Industrias, Decreto Ejecutivo No.10 del 26 de enero de 2009 "Por el cual se declaran los Patrones Nacionales de la República de Panamá", *Gaceta Oficial N° 26219*, Febrero de 2009.

[5] Autoridad Nacional para la Innovación Gubernamental, Resolución No.7 del 31 de mayo de 2010 "Por medio de la cual se adopta la Hora Nacional de Panamá, según definición del CENAMEP AIP, como la hora oficial para todas las entidades del estado", *Gaceta Oficial N° 26547-A*, Junio de 2010.

[6] M. A. Lombardi, "The SIM Time Network and its Contributions to Metrology in the Americas," *Metrologist: NCSLI Worldwide News*, pp. 16-21, April 2009.

[7] J. M. López-Romero, M. A. Lombardi, A. N. Novick, J-S. Boulanger, R. de Carvalho, R. Solis, and F. Jimenez, 2008, "The SIM Network: Improved Time Coordination for North, Central, and South America", *Proceedings of the 22nd European Frequency and Time Forum (EFTF)*, 9 pages, April 2008.



[8] M.A. Lombardi, A.N. Novick, J.M. López-Romero, F. Jimenez, J.S. Boulanger, R. Pelletier, R. de Carvalho, R. Solís, C. Donado, H. Sanchez, C.A. Quevedo, G. Pascoe, and D. Perez, "The SIM Time and Frequency Network", *INFOSIM*, pp. 15-25, December 2008.

[9] Arias E.F., "The Iberoamerican contribution to international time keeping", *Rev. Mex. Astron. Astr. (Ser. Conf.)*, 2006, 25, 21-23.

[10] BIPM, Need to improve world-wide time coordination to UTC recommendation S5 (1993), *Report of the Comité Consultatif pour la définition de la seconde (12th meeting-1993) to the Comité International des Poids et Mesures*, 1993.

[11] Lewandowski W., Tisserand L., "Determination of the differential time corrections for GPS time equipment located at the OP, TCC, ONBA, IGMA and CNMP", *Rapport BIPM-2008/03*, 18 pp.

[12] Bregni S. "Synchronization of Digital Telecommunications Networks". Italy: John Wiley & Son, LTD. 2002.