

# ESTABLECIMIENTO Y EVOLUCIÓN DE LA METROLOGÍA DE TIEMPO Y FRECUENCIA EN PANAMÁ

Raúl F. Solís B., Luis M. Mojica O.  
Centro Nacional de Metrología de Panamá  
Edificio 215, Ciudad del Saber, República de Panamá.  
+507 5173100, [rsolis@cenamep.org.pa](mailto:rsolis@cenamep.org.pa), [lmojica@cenamep.org.pa](mailto:lmojica@cenamep.org.pa)

**Resumen:** El Centro Nacional de Metrología de Panamá tiene como objetivo desde su creación, el posicionarse como la referencia nacional de la metrología y su desarrollo, apoyándose en el reconocimiento internacional como base para demostrar las capacidades del centro en el ámbito público y privado nacional. De los laboratorios que lo conforman, el Laboratorio de Tiempo y Frecuencia avanzó significativamente en los últimos 9 años, por su constante participación en las actividades metrológicas nacionales e internacionales, posicionando al centro como un lugar de desarrollo e innovación en metrología científica e industrial y su vinculación con los procesos productivos en Panamá.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Tiempo Universal Coordinado (UTC) [1] es sostenido por la comparación de más de 370 patrones atómicos en 71 laboratorios, mediante las realizaciones locales denominadas UTC(k), y cuya diferencia entre UTC y UTC(k) [2] es mensualmente informada por la Sección de Tiempo del Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), mediante la Circular T [3]. El Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP), mediante la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) adquirió dos patrones de Cesio 133 y los equipos básicos para realizar comparaciones y mediciones, desarrollando los primeros servicios básicos de calibración a la industria en octubre del año 2002, iniciando así el laboratorio de Tiempo y Frecuencia.

En el año 2003 el CENAMEP inicia su participación en el UTC, mediante el UTC(CNMP) en el Día Juliano Modificado (MJD) 52914, y en el año 2005 se incorpora al proyecto de la red de comparación de tiempo y frecuencia en tiempo real (SIMTFN) [4] del Sistema Interamericano de Metrología (SIM). Para finales del año 2011, el CENAMEP se incorpora al experimento piloto del BIPM, el Rapid UTC (UTCr) iniciado en enero de 2012. Entre los años 2005 a 2011, se verificó la conformidad del sistema de calidad de los servicios de calibración frente a la norma ISO 17025, para lograr incorporar las Capacidades de Medición y Calibración (CMC) en el BIPM. Como parte de los procesos de mejora, se aplicaron las recomendaciones del BIPM [5] realizando correcciones a la frecuencia de salida del reloj maestro (RM), para así disminuir la diferencia de tiempo aunque se afectase la estabilidad. Así se

realizaron las posteriores correcciones las cuales afectaron el peso de la participación frente a la escala de tiempo, pero permitieron estar dentro de los parámetros recomendados. Entre los años 2009 y 2010, gracias a los trabajos realizados a nivel internacional que sirvieron de apoyo para demostrar las capacidades de trabajo, se logra primero la declaración de los patrones atómicos como los Patrones Nacionales de Tiempo y Frecuencia de la República de Panamá [6], y luego se declara UTC(CNMP) como la Hora Oficial del Gobierno [7].

Al incrementar los conocimientos, se generaron las herramientas necesarias para reportar al BIPM la diferencia de tiempo entre UTC(CNMP), el RM y el reloj testigo mediante el comparador de fase multicanal (CFM), y luego se incorpora un generador de desvíos de frecuencia (GDF) el cual pasaría a ser la realización de UTC(CNMP) con lo que ya no se volverían a tocar la frecuencia de los patrones, aumentando su estabilidad y creando las bases para el desarrollo de nuevas áreas de trabajo en la metrología de tiempo y frecuencia en Panamá.

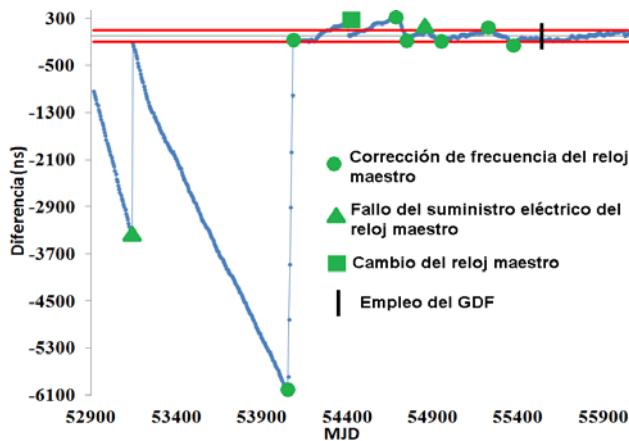
## 2. IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO

Lograr reconocimiento internacional como respaldo sólido al momento de posicionarse dentro del país como una referencia en metrología era la prioridad, ya que por las altas inversiones realizadas por la SENACYT, se debía demostrar resultados para seguir recibiendo apoyo. Una vez logrado el reconocimiento a nivel internacional, se debía consolidar los servicios de calibración y sus sistemas de calidad, y la diseminación de UTC(CNMP) debería ser un elemento para el

desarrollo de Panamá como centro logístico de la región y hacer que el mantenimiento del laboratorio fuera necesario por el bien de la sociedad.

**2.1. Desarrollo del UTC(CNMP)**

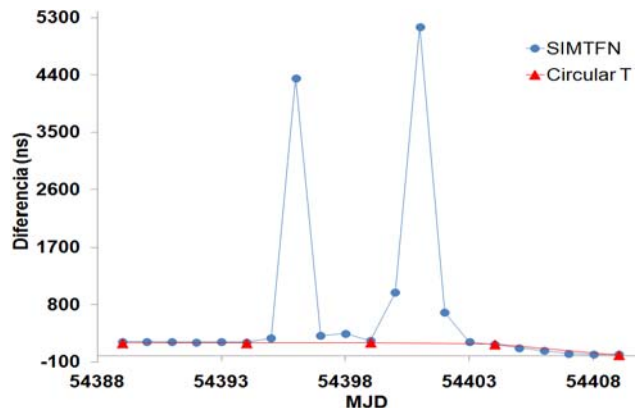
En el año 2002 y antes de iniciar los procesos de comparación, la Dra. Elisa Felicitas Arias visitó el laboratorio y aportó a su desarrollo con las primeras recomendaciones realizadas. Con los patrones atómicos, los distribuidores de pulsos y señales, y el TTS-2 (Time Transfer System), se escogió a uno de los dos patrones atómicos como el RM y se sincronizó a una señal proveniente de un oscilador disciplinado a GPS (GPSDO). Por la falta de experiencia en el manejo de los patrones y la baja demanda de servicios de calibración de alta exactitud, al RM no se le modificó ningún parámetro dejando que alcanzara la máxima estabilidad posible, mientras que el otro patrón sería un respaldo frente a cualquier cambio o daños del RM. En la Fig. 1, se puede apreciar el comportamiento de UTC(CNMP) y la banda de  $\pm 100$  ns a lo largo de 3130 días de trabajo.



**Fig. 1.** Comportamiento de UTC(CNMP) desde el MJD 52914 hasta el MJD 56044.

Después del entrenamiento en el CENAM en el año 2006, se procedió a realizarle una corrección a la frecuencia del patrón para disminuir la diferencia desde  $-6 \mu s$  hasta lo más cercano a cero posible en 30 días (pendiente de  $+200$  ns/día). Este cambio se reportó a la Sección de Tiempo para evitar que su algoritmo de escalas de tiempo fuera afectado y se estableció que las posteriores correcciones siempre fueran menores a  $10$  ns/día. Cerca de un año después, en el año 2007, el SIMTFN mostraba fluctuaciones recurrentes que no eran fácilmente apreciadas por el TTS-2. Se descubrió que la salida

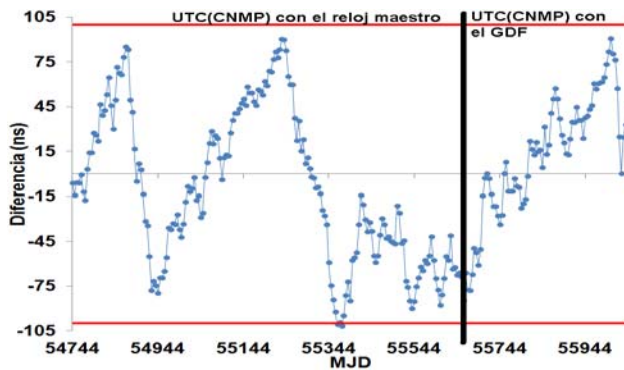
de  $10$  MHz del RM presentaba fluctuaciones mas no la de  $1$  PPS. Al momento de realizar las evaluaciones posteriores, se comparó los datos obtenidos por la Circular T y los datos obtenidos del SIMTFN. Esta comparación es mostrada en la Fig. 2.



**Fig. 2.** Comportamiento registrado del RM desde el MJD 54389 hasta el MJD 54409.

Por los resultados obtenidos y bajo la asesoría de la división de tiempo del CENAM, se procedió a sincronizar al patrón testigo con la señal de  $1$  PPS provenientes del RM y con ello asignar al testigo como el nuevo RM, nuevamente informando al BIPM sobre estos cambios, y ya que no se tenía un completo conocimiento del comportamiento y por el temor a causar algún daño al único patrón que quedaba, se esperaron cerca de  $285$  días antes de aplicarle cualquier corrección (cerca de  $10$  informes de la Circular T).

Con el CFM y los programas de control y supervisión instalado, se incorporó el otro patrón que había estado en reparaciones (demoró  $18$  meses por distintos trámites y la logística de su traslado) al proceso de comparación local. Una vez efectuadas las pruebas pertinentes, en febrero de 2010, se procedió a reportar al BIPM el informe mensual de la comparación local de los patrones, manteniendo el RM como la realización de UTC(CNMP). En el día MJD 55651 se procedió a instalar el GDF el cual pasaría a ser la nueva realización de UTC(CNMP), evitando así volver a modificar la frecuencia del RM mejorando la estabilidad de los patrones. En la Fig. 3 se puede apreciar las correcciones realizadas al RM y las correcciones realizadas al GDF.



**Fig. 3.** Comportamiento de UTC(CNMP) desde el MJD 54744 hasta el MJD 56044.

La cooperación y ayuda de colegas de otros institutos de metrología ayudaron a incrementar las capacidades del laboratorio mejorando los procesos de control y supervisión corrigiendo las deficiencias encontradas y, permitiendo desarrollar herramientas eficientes de supervisión de los parámetros internos de los patrones para conocer su envejecimiento [8]. Mediante un análisis de la estabilidad de frecuencia se establecieron los valores de estabilidad que debería tener UTC(CNMP) empleados para la estimación de la incertidumbre de las calibraciones y futuras CMC, basándose en los datos de la Circular T, el SIMTFN, los dos patrones, las especificaciones de fábrica y el GPSDO, empleando distintas herramientas estadísticas para la metrología de tiempo y frecuencia. También la política de participar en todos los foros metrológicos posibles para incrementar los conocimientos y las capacidades del laboratorio, motivó a incorporarnos al experimento piloto del UTCr (entre sus objetivos es disminuir el tiempo entre publicaciones de los resultados de UTC), por lo que se procedieron a modificar y crear los programas para poder asistir en el desarrollo de este proyecto del BIPM.

## 2.2. Servicios de calibración

En marzo de 2003, se desarrollaron dos servicios de calibración: de cronómetros (MIT) y de tacómetros de acople óptico (MFAO). Estos servicios emplean un contador de frecuencias, una tarjeta PCI procesadora de tiempo y frecuencia (con su programa de control) disciplinada a las señales de 10 MHz y 1 PPS de los distribuidores de señales, y un circuito que genera una luz estroboscópica de la señal de salida de la tarjeta. En el año 2005 los servicios se auditaron por Michael Lombardi (NIST) y el Dr. Jean-Simone Boulanger (NRC) para evaluar la conformidad del sistema con la ISO 17025 e ingresar estas CMC en el apéndice C del BIPM. Ya

en los años 2006 y 2007, se inicia el establecimiento del sistema de calidad para los servicios de calibración de tacómetros de acople mecánico (MFAM) y calibración de centrifugas (GFR), empleando un tacómetro de acople óptico calibrado en el laboratorio, y se estableció por seguridad que la máxima medida se realizaría a  $15E+03$  r/min (usando la relación de que 60 r/min es 1 Hz, y r/min es revoluciones por minuto). Con la visita del Dr. José Mauricio López (CENAM) para evaluar la conformidad del sistema se acreditaron todos los servicios de calibración ofrecidos hasta el momento como una estrategia nacional para potenciar al Consejo Nacional de Acreditación (CNA) y las acreditaciones en el país.

En el año 2007, se realizaron las primeras calibraciones de generadores de señales y contadores de frecuencia y en 2008 una nueva visita por parte del Dr. José Mauricio López, verificó las capacidades del laboratorio, empezándose a desarrollar los sistemas de calidad de tres nuevos servicios de calibración: osciladores (OSC), sintetizadores de señales (SSF) y contadores de señales (CS), los cuales emplean dos contadores de frecuencia, mezcladores, filtros, amplificadores y dos generadores de señales todos disciplinados a la señal de 10 MHz y automatizados para poder mejorar la toma de datos. Una auditoría realizada por el Dr. Ricardo José de Carvalho (ONRJ), en el año 2010, verificó la conformidad de los servicios para incorporar nuevas CMC en el apéndice C, y en el año 2011 como parte de los 5 años de la vitalidad de la CMC de los servicios de calibración de MIT y MFAO, evaluándolos Michael Lombardi.

## 2.3. Servicios de diseminación de tiempo

El primer servicio desarrollado fue el Reloj Web en el año 2007, ya que era la manera más rápida de diseminar la hora con los recursos que se tenían, prefiriéndose trabajar con HTML, JavaScript y PHP que son fáciles de reconocer por la gran mayoría de navegadores de Internet con un archivo menor a 30 KB, ya que en el año 2007 todavía estaba muy de moda las conexiones de 56,6 Kbps. La página se aloja en una computadora de escritorio con el servidor web Apache instalado, sincronizándose continuamente al servidor de tiempo mediante un programa cliente del Network Time Protocol (NTP). Desde el año 2009 se monitorea el acceso y las tecnologías empleadas por los visitantes mediante herramientas gratuitas para mejorar sus capacidades de visualización y adaptación futuras.

El segundo servicio desarrollado fue la Hora por Voz en el año 2009, ya que se buscaba posicionar al centro como la fuente de referencia de tiempo por excelencia del país y, por eso bajo la guía y cooperación del CENAM, se desarrollaron tres sistemas basados en computadoras de escritorio modificadas con componentes de fácil acceso en el mercado local, dándoles una enorme flexibilidad de ajustes. En la Fig. 4, se muestra el esquema de funcionamiento del sistema y el formato del audio de la pista que indica la hora exacta.

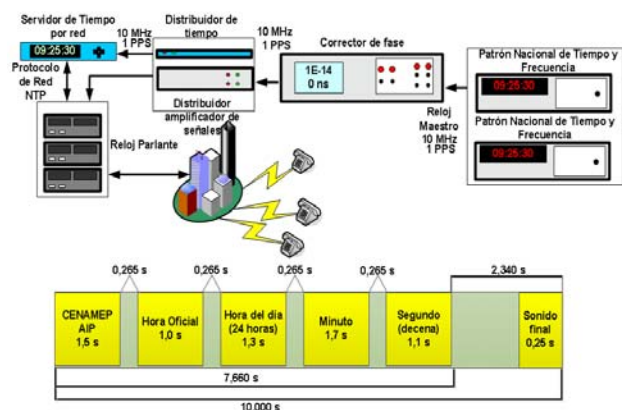


Fig. 4. Esquema del funcionamiento del servicio de la hora por voz.

El último servicio desarrollado fue el Tiempo por Red, aprovechando el impulso logrado de la declaración de los patrones nacionales y UTC(CNMP) así como la Hora Oficial del gobierno. Este servicio emplea dos servidores NTP sincronizados a la señal de 1 PPS y respaldados en la señal de 10 MHz, permitiendo sincronizar cerca de 5 mil clientes sin degradar sus características. Por políticas del CENAMEP, el acceso está limitado solo a organismos públicos o privados por lo que hay que solicitar el acceso mediante un correo.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Desarrollo del UTC(CNMP)

Se tiene un sistema de referencia de tiempo y frecuencia con dos patrones atómicos, dos sistemas de comparación GPS multicanal, dos distribuidores de señales, el CFM y el GDF, cumpliendo la cadena de trazabilidad desde y hacia la realización del segundo. También se crearon 5 programas que supervisan los procesos de comparación y analizan los datos obtenidos, informando mediante email, cualquier problema encontrado. El resultado de la

caracterización de los patrones atómicos estableció los límites de estabilidad para poder brindar los servicios de calibración según la necesidad de la industria con cualquiera de los patrones disponibles, detallado en la Tabla 1:

Tau (s)	Allan Deviation (Hz/Hz)
1	7,52E-12
10	6,84E-12
100	1,82E-12
1000	5,82E-13
10000	2,06E-13
86400	6,29E-14
100000	5,49E-14
432000	2,79E-14
4320000	1,05E-14

Tabla 1. Valores de estabilidad asignados a la realización en frecuencia de UTC(CNMP).

#### 3.2. Servicios de calibración

Se tienen 7 servicios de calibración, 5 con CMC registradas y 2 acreditados por el CNA (la Fig. 5 muestran las capacidades).

Servicio	Alcance	Unidad	U (k=2)	Reconocimiento
MIT	De 10 a 86400	s	0,05 s	CMC en 2006, actualizada en 2011
MFAO	De 0,5 a 250000	Hz	1,8E-08 Hz/Hz	CMC en 2006, actualizada en 2011
MFAM	De 50 a 15E+03	r/min	5E-04 (r/min)/(r/min)	Acreditación en 2007, en proceso de actualización (2012)
GFR	De 50 a 15E+03	r/min	5E-04 (r/min)/(r/min)	
OSC	100	kHz	6E-13 Hz/Hz	CMC en 2011
	1	MHz		
	5	MHz		
	10	MHz		
CF	De 1 a 1E+04	Hz	5E-06 Hz/Hz	CMC en 2011
	De 1E+04 a 1E+06	Hz	5E-10 Hz/Hz	
	De 1E+06 a 3E+09	Hz	5E-11 Hz/Hz	
SSF	De 1 a 225E+06	Hz	2E-11 Hz/Hz	CMC en 2011

Fig. 5. Capacidades de calibración actuales del laboratorio.

Estos servicios de calibración han generado 341 calibraciones en 9 años de trabajo, desarrollándose 6 programas para automatizar las calibraciones mejorando los tiempos de calibración y disminuyendo la presencia humana. También, como parte del trabajo se han desarrollado



capacitaciones sobre servicios de calibración a la industria en el área de tiempo y frecuencia.

### 3.3. Servicios de diseminación de tiempo

Los 3 servicios de diseminación tienen su mayor demanda entre las 05:00 y las 17:00 horas (UTC-5), que cubre la jornada de movilización y horario laboral en Panamá. Algunos otros datos asociados a la diseminación se muestran en la Tabla 2:

<b>Reloj Web</b>
Acceso por <a href="http://horaexacta.cenamep.org.pa/">http://horaexacta.cenamep.org.pa/</a>
Visitas desde su inicio: 688072
El 18,5% de los usuarios no usan Java
Visitas realizadas por Smartphones: 5713
Países de mayor acceso: Colombia, Canadá, Estados Unidos, España, Venezuela y México
<b>Tiempo por Voz</b>
Acceso (+507): 5173201, 5173202 y 5173203
Llamadas desde su inicio: 5331
<b>Tiempo por Red</b>
Acceso por email: <a href="mailto:servicios@cenamep.org.pa">servicios@cenamep.org.pa</a>
Sincronizaciones desde su inicio: 7387488
16 entidades financieras, de supervisión y de logística generan más pedidos

**Tabla 2.** Datos de los servicios de diseminación.

Una encuesta entre los años 2009 y 2011, muestra el impacto del uso de la hora, ya que en Panamá era cultural que la población mantenga hasta 10 minutos adelantados y las empresas de servicios hasta 15 minutos adelantados. Se verificó que al normar sobre la hora, la población sostenía diferencias menores a 3 minutos adelantados y las empresas menores a 5 minutos adelantados.

El incremento del trabajo en el laboratorio motivó su separación en tres laboratorios: Primario de Tiempo y Frecuencia, Secundario de Tiempo y Frecuencia y Diseminación de Tiempo y Frecuencia, teniendo solo una separación física parcial y una separación completa documental de cada laboratorio mientras se construye el nuevo edificio del CENAMEP.

## 4. DISCUSIÓN

### 4.1. Continuidad del trabajo y su futuro

Una única visión del trabajo a realizar, permitió seguir avanzando en el plan de posicionar al CENAMEP como una referencia de metrología de tiempo y frecuencia en la región a pesar del cambio

de personal en el año 2006 y, con el incremento a dos técnicos en 2008 se pudieron desarrollar más actividades incrementando el ritmo de trabajo tanto nacional como internacional. Con la llegada de un nuevo patrón atómico para finales del año 2012, se proyecta desarrollar el algoritmo de la escala de tiempo local con tres patrones de cesio. También se planea desarrollar nuevos servicios de calibración, diseminación y capacitación según los requerimientos de sincronización de las empresas de telecomunicaciones al momento de implementar sus sistemas de alta transferencia de datos, y se está trabajando en conjunto con las universidades estatales la creación de cursos especializados en metrología, como diplomado y maestría.

### 4.2. Eficiencia en los recursos y divulgación

Por la inversión realizada en el laboratorio (sin contar salarios y trámites administrativos) cercana a USD 300 000,00 en casi una década, se espera que la inversión pueda dar réditos o por lo menos no tantos gastos al centro, por lo que el personal se enfocó a optimizar los recursos empleando herramientas de bajo costo y la mejora de los procesos, disminuyendo los recursos que conlleva el mantenimiento del laboratorio. La ayuda que el laboratorio ha recibido de otros institutos y del SIM en los últimos años es cerca de USD 20 000,00 lo que al comparar resultados se expresa el buen aprovechamiento de los recursos brindados de ayudas internacionales en la mejora del laboratorio.

Como los patrones atómicos siempre cautivan al público en general, se ha aprovechado esto para volver el laboratorio como la punta de lanza en el concepto de divulgación y publicidad de la metrología en Panamá y, también, como fuente de innovación y desarrollo orientado a solucionar los problemas de la industria local y ser reconocidos como la referencia nacional en metrología, ya que lastimosamente si el público no puede palpar el trabajo del centro, se pone en peligro su misma continuidad.

### 4.3. Cooperar para avanzar

Como parte del bloque regional del SIM en tiempo y frecuencia, se puede palpar como la cooperación directa con los institutos más experimentados han mejorado el nivel técnico en solo un par de años al nivel que el laboratorio contribuye con la comunidad metrológica científica e industrial [9, 10, 11].

## 5. CONCLUSIONES

La metrología de tiempo y frecuencia en Panamá se ha basado en el trabajo continuo, transparente y enfocado al desarrollo de nuevas habilidades para cumplir con su rol de ser la mayor fuente de conocimiento técnico especializado en el país, manteniendo la labor social de brindar una referencia horaria para optimizar los procesos productivos que requiere la población. Este trabajo a lo largo de 9 años trajo como resultado un laboratorio maduro, pasando de solo mantener los patrones y brindar servicios básicos de calibración, a tener tres laboratorios especializados con sus sistemas de calidad funcionando conforme a la ISO 17025, cumpliendo sus labores científicas, comerciales y legales.

La especialización del personal, los recursos usados eficientemente y la constante cooperación con los miembros del grupo de trabajo incrementaron las capacidades del laboratorio, incorporando nuevos conocimientos y desarrollos con el fin de lograr disminuir costos de trazabilidad tanto interna como a los clientes, brindando soluciones a la industria y sosteniendo una base técnica y legal para apoyar a los organismos reguladores en su tarea de mejorar las condiciones del mercado en momentos donde la competitividad, la eficiencia en los recursos y el comercio justo son una necesidad para mejorar la calidad de vida de los habitantes de un país.

## AGRADECIMIENTOS

Se le agradece a la licenciada María Gabriela Alvarado, jefa de relaciones públicas de la SENACYT por prestar su voz para la implementación del servidor de tiempo voz.

## REFERENCIAS

- [1] E. F. Arias, The metrology of time, *Phil. Trans. R. Soc. A*, 363, 2289-2305 (2005).
- [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, monthly report, ISSN 1143-1393, acceso electrónico de la base de datos, <http://www.bipm.org/en/scientific/tfg/>, [Consulta: 9 de mayo de 2012]
- [4] M.A. Lombardi, A.N. Novick, J.M. López-Romero, F. Jimenez, E. de Carlos-Lopez, J.S. Boulanger, R. Pelletier, R. de Carvalho, R. Solis, H. Sanchez, C.A. Quevedo, G. Pascoe, D. Perez, E. Bances, L. Trigo, V. Masi, H. Postigo, A. Questelles, and A. Gittens, "The SIM Time Network," *NIST Journal of Research*, vol. 116, no. 2, pp. 557-572, March-April 2011.
- [5] 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.
- [6] 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, Ciudad de Panamá.
- [7] 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* No.26547-A, Ciudad de Panamá.
- [8] John A. Kusters, Leonard S. Cutler, "Long-term experience with Cesium beam frequency standards" Proceedings of the 1999 Joint Meeting of the European Frequency and Time Forum and the IEEE International Frequency Control Symposium, Besançon, France, IEEE Publication 99CH36313, pp. 159-163, April, 1999.
- [9] R.F. Solis, L.M. Mojica, H. Sanchez, O.G. Fallas, J.M. López-Romero, F. Jiménez, H. Diaz, H. Postigo, D. Perez, W. Adad, V. Masi, A. Ibrahim, M.A. Lombardi, B. Hoger, R. de Carvalho, J.L.M. Kronenberg, G.C. Orozco, T. Reddock, D Slomovitz, and L. Trigo, "An Interlaboratory Stopwatch Comparison in the SIM Region," *Measure: The Journal of Measurement Science*, vol. 6, no. 3, pp. 56-62, September 2011.
- [10] Luis M. Mojica O., Raúl F. Solis B., "Sistema de bajo costo para calibración automatizada de cronómetros digitales", Proceedings of the XVIII TC 4 IMEKO Symposium and IX SEMETRO, 2 pp, September 2011.
- [11] Luis M. Mojica O., Raúl F. Solis B. "Error de tiempo en cronómetros digitales en base a mediciones de intervalo de tiempo y frecuencia" Proceedings of the XVIII TC 4 IMEKO Symposium and IX SEMETRO, 2 pp, September 2011.