

# SINCRONIZACIÓN DE LA HORA OFICIAL CON SERVIDOR NTP CRONOS DEL CENAM

Francisco Javier Jiménez Tapia, J. Mauricio López Romero  
División de Tiempo y Frecuencia, Centro Nacional de Metrología, CENAM  
km 4.5 carretera a los Cues, El Marqués, 76246, Querétaro, México  
Teléfono ++52 442 2110500, fax ++52 442 2153904, e-mail [fjimenez@cenam.mx](mailto:fjimenez@cenam.mx)

**Resumen:** El CENAM, a través del laboratorio de Escalas de Tiempo de la División de Tiempo y Frecuencia brinda servicios de sincronía con La Hora Oficial de Los Estados Unidos Mexicanos por internet a través de servidores de tiempo. En este trabajo se presentan resultados de medición del nivel de sincronía con el que dichos servicios se están disseminando, siendo éste un dato interés para los usuarios del servicio pues revela las incertidumbres alcanzadas en los niveles de sincronía vía NTP.

## 1. INTRODUCCIÓN

Una de las funciones del Centro Nacional de Metrología es disseminar las exactitudes de sus patrones por medio de servicios tecnológicos de la más alta calidad, para incrementar la competitividad del país, contribuir al desarrollo sustentable y mejorar la calidad de vida de la población. El CENAM, a través del laboratorio de Escalas de Tiempo de la División de Tiempo y Frecuencia, pone a disposición de toda la población diversos servicios cuyo principal objetivo es el de transferir la Hora Oficial del País. Para desempeñar esta tarea, la División de Tiempo y Frecuencia del CENAM ha desarrollado diversos mecanismos, desde los más simples como el servicio de la Hora Oficial por teléfono donde se anuncia con voz la hora, para propósitos comunes; hasta los más sofisticados como es el caso de la disseminación de la Hora Oficial de forma encriptada y segura para aplicaciones altamente demandantes en seguridad de la información. En este trabajo se presenta el estudio del nivel de sincronía alcanzado en el servicio de disseminación de la Hora Oficial por internet el cual consiste básicamente en difundir la hora a través de internet mediante el protocolo de sincronización NTP (*Network Time Protocol*). A efecto de brindar el servicio referido el CENAM cuenta con servidores de tiempo dedicados exclusivamente para este propósito. La Hora Oficial es generada a partir de la escala de Tiempo Universal Coordinado del CENAM, conocida internacionalmente como UTC(CNM).

## 2. LAS ESCALAS DE TIEMPO UTC Y UTC(CNM)

La definición de la unidad de tiempo del Sistema Internacional de unidades (SI), el segundo, adoptada en la 13<sup>a</sup> Conferencia General de Pesas y Medidas en 1967 [1], abrió la posibilidad de realizar la unidad de tiempo con alto nivel de exactitud. En la actualidad el segundo se realiza con incertidumbres del orden de 3 partes en  $10^{16}$  [2]. Con la realización de la unidad de tiempo se abre también la posibilidad de medir duración de intervalos de tiempo con muy alto nivel de exactitud. Por otro lado, la solución de problemas de sincronía a gran escala requiere de un elemento adicional, a saber, escalas de tiempo. En términos breves, una escala de tiempo es el resultado de integrar (sumar) unidades de tiempo (que pueden ser, o no, coincidentes con la unidad de tiempo del SI) de manera continua e infinita, en donde el origen (el cero de la escala), una vez fijo, no se mueve. Existen diferentes escalas de tiempo de amplio uso, entre ellas: i) la escala de Tiempo Universal, UT1. Ésta es una escala de tiempo astronómica cuya unidad básica es definida, y medida, en términos de los movimientos de rotación de la tierra [3]. ii) la escala de Tiempo Atómico Internacional, TAI. La unidad básica de esta escala es coincidente con la definición de la unidad de tiempo del SI, la cual es generada por el *Bureau International des Poids et Mesures*, BIPM. iii) la escala de Tiempo Universal Coordinado, UTC. Esta escala es generada también por el BIPM en base al TAI y al UT1 de acuerdo a las siguientes relaciones:

$$UTC - TAI = n, \quad (1)$$

$$|UTC - UT1| \leq 0,9s, \quad (2)$$

donde  $n$  es un número entero de segundos. La ecuación (1) establece que las diferencias entre el UTC y el TAI son siempre iguales a un número entero de segundos, mientras que la ecuación (2) restringe al UTC para que no difiera del UT1 más allá de 0,9 segundos. De esta forma, la unidad básica del UTC es igual a la unidad del TAI, mientras que el número de segundos del año depende de las condiciones de rotación de la tierra. Para asegurar el cumplimiento de la condición (2) se requiere introducir periódicamente segundos intercalares al tiempo UTC. En caso de ser necesario, estos segundos son introducidos a las 24h00 UTC preferentemente los días 31 de diciembre o 30 de junio, en ese orden. Desde 1972 hasta la fecha se ha acumulado una diferencia de 34 segundos entre el UTC y el TAI, esto es  $n = -34$  s. Al momento de escribir este artículo está programada la inserción de un segundo intercalar más para el día 30 de junio del 2012 a las 24h00 UTC [4]. El organismo internacional encargado de tomar la decisión de la inserción, o no, de los segundos bisiestos en el UTC, asegurando el cumplimiento de la relación (1), es el *International Earth Rotation and Reference Systems Service* (IERS) [5]. En la generación del TAI y del UTC el BIPM recibe información de alrededor de medio centenar de laboratorios alrededor del mundo los cuales participan con datos de sus escalas de tiempo UTC locales. Las escalas de tiempo locales son denotadas como  $UTC(k)$ , donde  $k$  es un acrónimo para cada laboratorio. Por ejemplo, para el CENAM,  $k = CNM$ . Es importante señalar que tanto el UTC como el TAI son escalas de tiempo virtuales (no existe una señal física que define dichas escalas de tiempo), mientras que las escalas de tiempo  $UTC(k)$  y  $TA(k)$  son escalas de tiempo reales (existe una señal física que materializa dichas escalas). El Centro Nacional de Metrología, CENAM, genera la escala de tiempo que constituye la predicción de los Estados Unidos Mexicanos al UTC, el UTC(CNM). El UTC(CNM) es una escala de tiempo real generada por un conjunto de relojes atómicos que se mantienen en operación continua en los laboratorios de la División de Tiempo y Frecuencia del CENAM. El CENAM ha implementado un algoritmo matemático que le permite combinar las mejores características metrológicas de todos los relojes atómicos con los que cuenta y obtener, del conjunto, un promedio ponderado que depende

principalmente de las estabildades de los propios relojes [6]. Así, mediante este conjunto de relojes atómicos el CENAM genera la escala UTC(CNM) la cual es materializada en un pulso por segundo de alta calidad y cuya estabilidad en frecuencia para tiempos de promediación de varias semanas es del orden de partes en  $10^{15}$ .

### 3. EL PROTOCOLO NTP

Alrededor de 1980 se diseñó un protocolo para sincronizar el reloj de la computadora central en un sistema informático complejo, esa implementación llevó el nombre de Servicio de la Hora por Internet (*Internet Clock Service, ICS*) [7]. Pocos años más tarde, al final de esa misma década, en la *Digital Equipment Corporation*, dedicada a fabricar computadoras, desarrollaron el protocolo de sincronización nombrado Servicio de Sincronización Digital de la Hora (*Digital Time Synchronization Service, DTSS*). Al mismo tiempo en la *Toronto University* desarrollaban un software con el mismo propósito que fue bautizado como *xntp*. En 1993 se combinaron ambas ideas y nació el protocolo NTP, con la capacidad de sincronización de hasta 1 microsegundo de forma experimental. Así, desde 1994 subsiste el protocolo Network Time Protocol, NTP. En términos breves, el propósito del NTP es revelar el desajuste del reloj local del cliente en comparación con el reloj local del servidor NTP. El cliente envía un paquete de solicitud de hora (UDP) al servidor cuya hora. En dicha solicitud va marcada la hora local de la computadora en una Estampa de Tiempo (*Time Stamp*). Una vez que el servidor recibe la petición éste devuelve la estampa de tiempo con la información de su hora. En este proceso el tiempo de tránsito de las estampas de tiempo a través de la red de comunicaciones (internet) es medido en ambos sentidos midiendo de esta manera el tiempo total de tránsito (*Round Trip Delay*) Una vez que la computadora del cliente recibe la información del servidor el software NTP del cliente calcula el desajuste del reloj local en comparación con el servidor NTP y procede a la sincronización corrigiendo la hora del reloj local por la cantidad correspondiente. El funcionamiento del protocolo NTP consiste esencialmente en establecer una ruta hacia el servidor de tiempo especificado, calcula el tiempo que tarda en viajar la Estampa de Tiempo desde el punto en el que se hace el requerimiento hasta el servidor de tiempo y de regreso (*Round Trip Delay*), después compensa ese retardo y posteriormente envía la estampa o sello de tiempo para sincronizar el equipo de computo del cliente.

Servicios de sincronización de tiempo están disponibles en el internet público, que hoy cuenta con miles de servidores en casi todos los países del mundo. Estos servidores son compatibles con más de 25 millones de computadoras en el internet global. Actualmente las aplicaciones prácticas de este servicio son muchas y siguen creciendo. Por mencionar algunas: monitoreo, inventariado y precisión de los registros de transacciones (*log files*) para el procesamiento de transacciones, diagnóstico y recuperación de fallos de red para el desarrollo de software, estampas de tiempo en los archivos para el envío y recepción de información por internet, acceso de seguridad y autenticación para manejo y administración de contraseñas digitales, y muchas aplicaciones más.

La figura 1 presenta un esquema simplificado de la arquitectura del protocolo NTP.

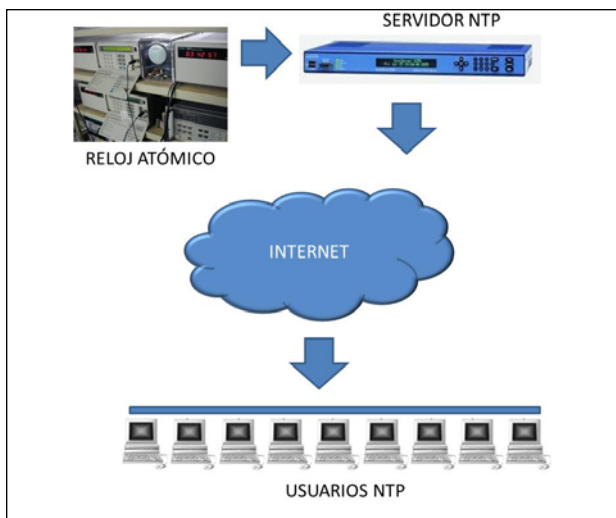


Fig. 1. Esquema simplificado del NTP.

### 3. SINCRONIZACIÓN MEDIANTE NTP

El protocolo NTP está organizado en una jerarquía dinámica de servidores. El servidor de orden superior recibe la calificación de **stratum 0**. Éstos servidores NTP están comandado directamente por relojes Atómicos de Cesio o los Satélites GPS. Los servidores/computadoras que toman su hora de los **stratum 0** son a su vez **stratum 1**, es la máxima jerarquía que puede alcanzarse dentro de la Internet. Cualquier servidor/computadora que tome como referencia un **stratum 1** es un **stratum 2**. De forma se genera un jerarquía con la regla de que un

servidor NTP es de **stratum stratum n+1** si toma como referencia un servidor NTP de **stratum n**. El nivel más bajo que hay definido es un **stratum 16**.

En la Internet pueden encontrarse algunos cientos de servidores NTP de **stratum 1** que son tomados como referencia por unos cuantos miles de servidores NTP de **stratum 2**, los que a su vez se encargan de sincronizar a un número mucho mayor de servidores NTP de **stratum 3**, etc. La jerarquía es dinámica. Un mismo sistema puede ser en un momento **stratum 3** y en otro **stratum 2**, incluso **stratum 16** cuando pierde la sincronización, dependerá en cada momento de qué servidor tome como referencia [8].

La sincronización se lleva acabo mediante software desarrollado específicamente para esta tarea mismo que integra el algoritmo de sincronización [9]. Existe disponible una amplia gama de software gratuito en internet. Una vez que un programa de sincronización por NTP es descargado, se configura para indicar a qué servidor de tiempo debe conectarse, así como la frecuencia con la cual se requiere la sincronización del reloj de la computadora con el servidor de tiempo.

Tabla 1. Jerarquía para la sincronización de redes.

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>stratum 0</b> | Fuentes de Reloj de referencia como Patrones primarios o el GPS. |
| <b>stratum 1</b> | Servidores NTP.  |
| <b>stratum 2</b> | Servidores NTP secundarios.                                      |
| <b>stratum 3</b> | Workstations, servidores, dispositivos NTP.                      |

Los laboratorios nacionales de metrología suelen contar con el servicio de sincronización por internet (NTP) y la descripción de su servidor se puede encontrar en la internet. Para hacer uso del servicio de sincronía por internet, el usuario básicamente necesita sconocer el nombre y la dirección IP del servidor. Por ejemplo, el servicio de sincronización de la Hora Oficial para la Republica Mexicana se puede acceder en la dirección IP 200.23.51.102, el servidor tiene el nombre de "cronos" y se localiza en el Centro Nacional de Metrología, CENAM.

#### 4. MEDICIÓN DE SINCRONÍA CON EL UTC(CNM)

Los niveles de sincronía alcanzados por un usuario de NTP dependen principalmente de la fuente de sincronía y del tiempo de retardo de la Estampa de Tiempo. Con la finalidad de determinar el nivel de sincronía con el que se disemina la Hora Oficial de Los Estados Unidos Mexicanos, se ha puesto en marcha un experimento de medición, mediante un software especializado desarrollado por la División de Metrología de Tiempo y Frecuencia del CENAM el cual emplea el protocolo de sincronización SNTP (*Simple Network Time Protocol*) [8]. El software lleva por nombre "TimeStamp" y fue desarrollado en Borland C++ Builder 2010.



Fig. 2. Pantalla principal del software TimeStamp.

El software *TimeStamp* tiene capacidad para medir (y graficar) las diferencias de tiempo entre el tiempo local de la computadora que hospeda al programa y hasta 4 servidores de tiempo de forma simultanea y en tiempo real. Este software mide y registra las siguientes diferencias de tiempo:

- LocalTimePC – TimeStampServer1,
- LocalTimePC – TimeStampServer2,
- LocalTimePC – TimeStampServer3 y
- LocalTimePC – TimeStampServer4.

En las primeras mediciones que se realizaron con este programa se aseguró que el reloj de la computadora (LocalTimePC) estuviera sincronizado con el servidor cronos del CENAM a efecto de evitar desviaciones en el reloj de referencia. El programa *TimeStamp* se configuró para realizar la medición con 4 servidores NTP externos inmediatamente después de que el reloj de la computadora se sincronizaba con el servidor de tiempo de CENAM.

La figura 4 presenta las mediciones realizadas entre los servidores SE-1 y SE-2 ubicados en el CENAM. Se aprecia que deliberadamente uno de ellos, el etiquetado como SE-2 presenta una diferencia de 1 hora con 52 minutos, mientras que el etiquetado como SE-1 presenta una diferencia por debajo de los 150 ms.

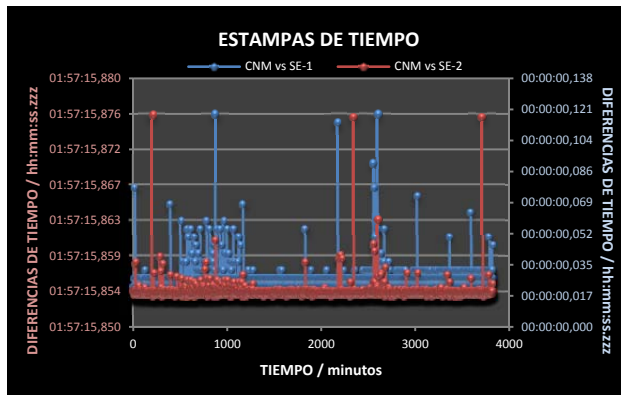


Fig. 3. Medición de sincronía con los servidores internos del CENAM.

La figura 4 muestra mediciones realizadas en la División de Tiempo y Frecuencia del NIST localizada en Boulder Colorado, EEUU, para lo cual se utilizó el programa *TimeStamp* pero esta vez comparando las estampas de tiempo generadas en un servidor NTP del NIST con las estampas de tiempo generadas por el servidor cronos ubicado en el CENAM.

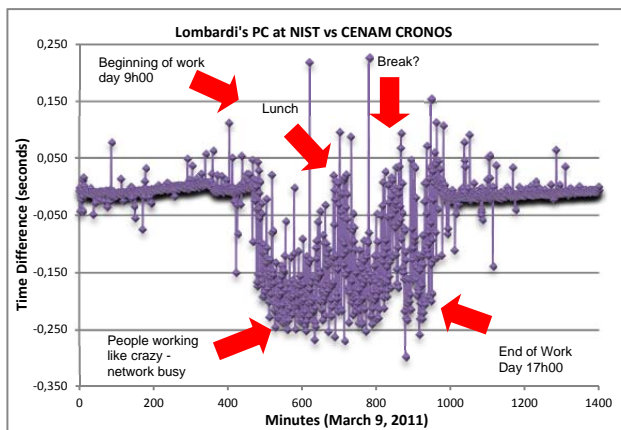
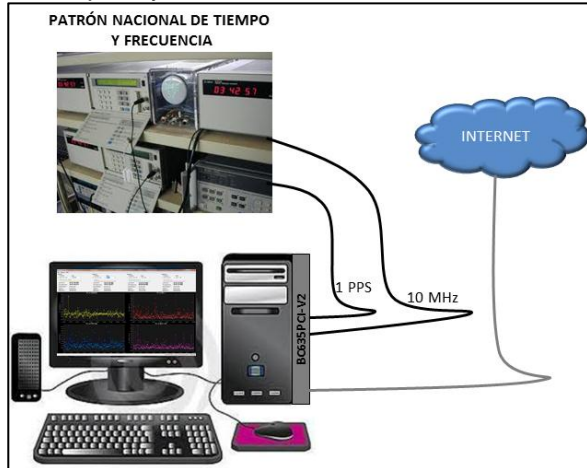


Fig. 4. Mediciones realizadas con el software TimeStamp en los laboratorios del NIST.

Ahora bien, considerando que el LocalTimePC es la hora de la computadora en la que se realizan las mediciones y que, de forma general, la hora de las computadoras presenta desviaciones de algunos

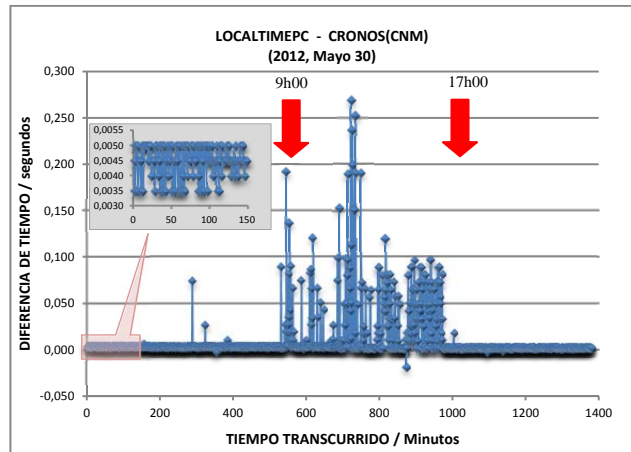


segundos en el transcurso de un día, se procedió a instalar en dicha computadora una tarjeta electrónica con un oscilador OCOX (*Oven Controlled Cristal Oscillator*) con la finalidad de que este oscilador comande el reloj de la computadora eliminando las desviaciones del reloj propio de la PC. La tarjeta electrónica es la BC635PCI-V2 Time and Frequency Processor.



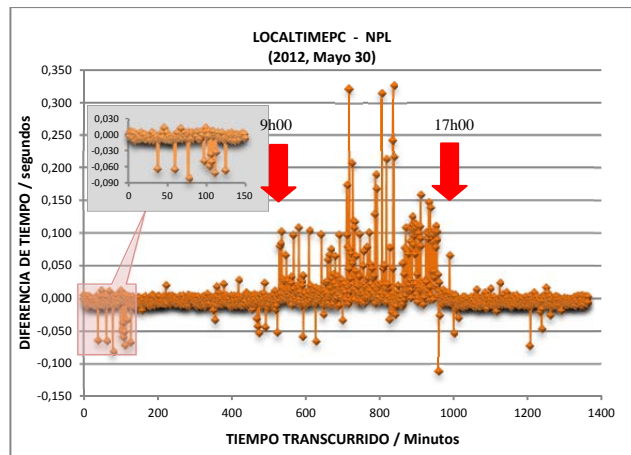
**Fig. 5.** Diagrama esquemático del sistema de medición incluyendo la tarjeta BC635PCI-V2.

Los gráficos siguientes presentan las mediciones realizadas en los laboratorios del CENAM con el nuevo esquema de medición, que incorpora la tarjeta BC635PCI-V2. Es interesante observar en las figuras 5,8, 9, 10 y 11 que el periodo de tiempo en el que las diferencias de tiempo entre el tiempo de la PC y de cada uno de los servidores medidos se disparan, corresponde justamente al horario de labores del CENAM. En la figura 4 se puede apreciar el efecto de disciplinar el reloj de la PC de referencia con el servidor del CENAM ya que la dispersión de las mediciones es mucho mayor, poco menos de 50 ms, considerando las regiones de menor ruido en el gráfico.



**Fig. 6.** Mediciones que muestran la diferencia de tiempo entre el tiempo de la computadora vs la estampa de tiempo del servidor del CENAM.

En las figuras 6, 7, 8 y 9 el reloj de la computadora que realiza las mediciones se disciplinó al Patrón Nacional de Tiempo mediante la tarjeta BC635PCI-V2. Para el caso de la Figura 6 se observa una dispersión menor a 10 ms cuando el servidor NTP medido fue el servidor del CENAM.

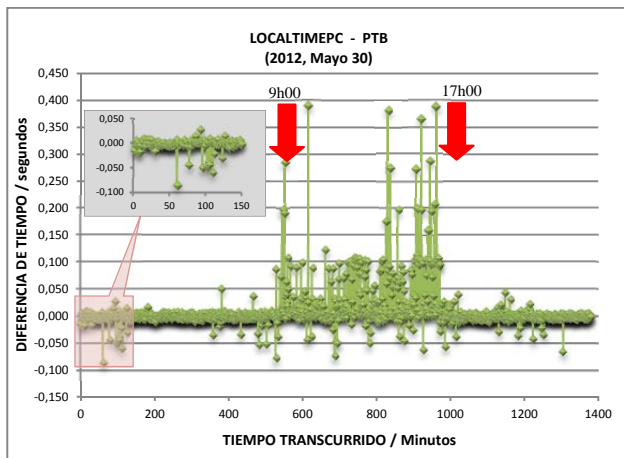


**Fig. 7.** Mediciones que muestran la diferencia de tiempo entre el tiempo de la computadora vs la estampa de tiempo del servidor del NPL.

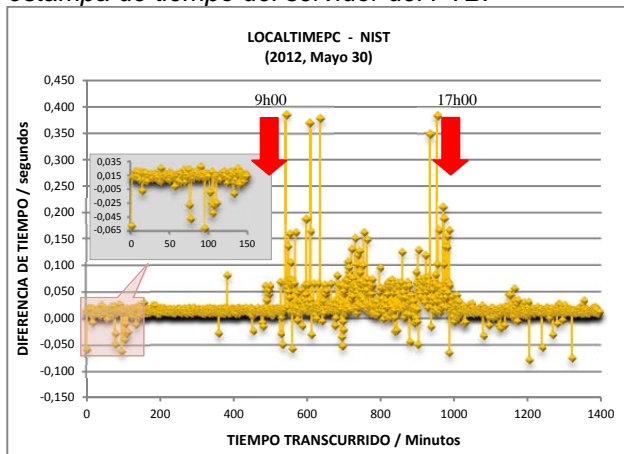
En la siguiente tabla se presenta la dispersión de las mediciones de sincronía realizadas con el sistema de medición que incorpora la tarjeta BC635PCI-V2.

| SERVIDOR NTP | Diferencia promedio en el horario laboral del CENAM | Diferencia promedio en el horario no laboral del CENAM |
|--------------|---|--|
| CENAM        | 288 ms  | 2 ms   |
| NIST         | 464 ms  | 89 ms  |
| NPL          | 439 ms  | 76 ms  |
| PTB          | 477 ms  | 113 ms   |

**Tabla. 2** *Dispersión máxima registrada durante el periodo de medición.*



**Fig. 8.** *Mediciones que muestran la diferencia de tiempo entre el tiempo de la computadora vs la estampa de tiempo del servidor del PTB.*



**Fig. 9.** *Mediciones que muestran la diferencia de tiempo entre el tiempo de la computadora vs la estampa de tiempo del servidor del NIST.*

**5. CONCLUSIONES**

Se presentó el sistema de medición de sincronía de servidores NTP desarrollado en el CENAM. Se detectó que el tráfico en la red interna del CENAM afecta el nivel de sincronía que puede ser alcanzado por el protocolo NTP cuando se utiliza el servidor cronos. En un trabajo futuro se experimentará se medirá el nivel de sincronía alcanzado entre puntos externos a la red del CENAM con la finalidad de conocer hasta qué nivel la dispersión observada depende de la hora del día para otros servidores NTP.

Para el caso de servidores NTP ubicados dentro de la red del CENAM, la incertidumbre en la sincronía se manifiesta en la dispersión de las mediciones siendo ésta menor a 2 ms cuando la medición se realiza en horas no laborables. Para el caso de sincronía donde el servidor está fuera de la red del CENAM en horario laboral la dispersión típica es cercana a 280 ms.

Los resultados obtenidos son de mucha utilidad pues permitirá realizar mejoras en el esquema de conectividad al servidor NTP tanto internamente como externamente al mismo tiempo que permite conocer la incertidumbre que los usuarios alcanzan en el servicio de sincronía NTP hacia la Hora Oficial de los Estados Unidos Mexicanos.

**REFERENCIAS**

- [1] 13ª Conferencia general de Pesas y medidas, 1967.
- [2] Ver por ejemplo: S. Weyers *et al*, "Uncertainty evaluation of the atomic caesium fountain CSF1 of the PTB", *Metrologia*, 2001, **38**, 343 – 352. S.R. Jefferts *et al*, "Accuracy evaluation of NIST-F1", *Metrologia*, 2002, **39**, 321 – 336.
- [3] H. Montage Smith, "International Time and Frequency Coordination", *Proc. Of the IEEE*, Vol 60, No 5, May 1972. Jean Kovalevsky, "Astronomical Time", *Metrologia*, Vol 1, No 4, 1965.
- [4] Service International de la Rotation Terrestre et des Systemes de Reference / IERS, *Bulletin C* 43, Paris, 5 January 2012.
- [5] International Earth Rotation Service (IERS), *Observatoire de Paris* 61, Avenue del l'Observatoire – 75014 Paris, Francia.
- [6] J. M. López-Romero and N. Diaz Muñoz, "Progress in the generation of the UTC(CNM) in terms of a virtual clock", *Metrologia*, 45 (2008) S59–S65.
- [7] D.L. Mills, "DCNET Internet Clock Service", RFC778, Network Working Gropup report, COMSAT Laboratories, December 1983.
- [8] D.L. Mills, "Simple Network Time Protocol (SNTP)", RFC1361, Network Working Gropup report, University of Delaware, August 1992.
- [9] D.L. Mills, "Network Time Protocol (NTP)", RFC956, Network Working Gropup report, COMSAT Laboratories, September 1985.