

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción y Presentación	1
1.1. Descripción del documento	2
1.2. Listado de Acrónimos.....	3
1.3. Resumen breve del funcionamiento de NTP	5
1.4. Justificación: Aplicación a sistemas distribuidos geográficamente. Colaboración entre sistemas navales y aéreos funcionando en red.....	8
1.5. Objetivos del proyecto.....	11
Capítulo 2: Análisis De NTP	12
2.1. Descripción de NTP	13
2.2. Componentes de NTP	14
2.3. Características principales	15
2.4. Descripción de los algoritmos y de la arquitectura de NTP	18
2.4.1. Aproximación a la arquitectura NTP.....	18
2.4.2. Algoritmos de NTP.....	21
2.4.2.1 Algoritmo de filtrado de reloj.....	21
2.4.2.2. Algoritmo de intersección	22
2.4.2.3 Algoritmo de formación de conglomerados:.....	23
2.4.2.4 Algoritmos de selección y combinación.....	24
2.4.2.5 Algoritmo de disciplina del reloj.....	25
2.4.3. Configuración de un cliente y un servidor. Descripción del archivo de configuración.....	27
Capítulo 3: Entorno de Realización.....	30
3.1. Catiz.....	31
3.2. Mi servidor particular con el GPS de Garmin	32
3.2.1. Fuente de tiempo. El GPS como suministrador de tiempo de muy alta precisión 32	
3.2.1.1 El sistema GPS	33
3.2.1.2 Funcionamiento básico	34
3.2.1.3 Medición de distancias a los satélites.....	35
3.2.1.4Alineación temporal Satélite Receptor	37
3.2.2. Descripción del Hardware: GPS Garmin 16 LVS.....	38
3.2.2.1 Señal NMEA	39
3.2.2.2 Señal PPS.....	42
3.2.2.3Conexión del GPS al puerto serie.....	43
3.2.3. Descripción del software	45
3.2.3.1 SNSRCFG: Programa de Garmin para la configuración del GPS.....	45
3.2.3.2 Drivers	46
Shmpps	46
Linuxpps	46
3.2.3.3 Minicom/ Hyperterminal	46
3.2.4 Configuración del servidor	47
3.2.4.1. Detalles de conexión y configuración	48
Capítulo 4:Estadísticas	51
4.1. Descripción de los ficheros de estadísticas que nos da ntpd	52
4.2. Estadísticas recogidas	55
4.2.1. Estadísticas Para Stratum 1	55

4.2.2.	Estadísticas Para Stratum 2	56
4.2.3.	Estadísticas Para Stratum 2 Con Un Par.....	58
4.2.4.	Estadísticas Para Stratum 2 Con Sondeos Forzados.....	60
4.2.5.	Estadísticas Para Stratum 2 Con Sobrecarga De La Red.....	63
4.2.6.	Estadísticas Para Stratum 2 Con Sobrecarga Del Procesador	65
4.3.	Interpretación de los resultados	67
4.3.1.	Comparación de stratum 1 y stratum 2.....	67
4.3.2.	Comparación entre stratum 2 sin par o con par	68
4.3.3.	Stratum 2 con diferentes intervalos de sondeo	70
4.3.4.	Stratum 2 con sobrecarga de red.....	71
4.3.5.	Stratum 2 con sobrecarga del procesador	73
Capítulo 5:	Conclusiones.....	75
5.1.	Conclusiones a partir de las estadísticas.....	76
5.2.	Diseño a bordo.....	77
5.2.1.	Sistema de sincronización en el buque	77
Capítulo 6:	Bibliografía	81
Anexo I:	Segmento de memoria Compartida	83
Anexo II:	Formato de Datos	86
Anexo III:	Datos Técnicos de la Central Horaria.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: NTP en la torre de protocolos OSI</i>	5
<i>Figura 2: Ejemplo de red de sincronización</i>	6
<i>Figura 3: Esquema básico de funcionamiento</i>	7
<i>Figura 4: Las tres redes que se consideran en NCW</i>	8
<i>Figura 5: Diagrama de Jerarquía NTP</i>	17
<i>Figura 6: Arquitectura NTP</i>	18
<i>Figura 7: Proceso de descomposición</i>	19
<i>Figura 8: Flujo de datos de NTP</i>	19
<i>Figura 9: Algoritmo de Filtrado</i>	21
<i>Figura 10: Algoritmo de intersección</i>	22
<i>Figura 11: Algoritmo de formación de conglomerados.</i>	23
<i>Figura 12: Algoritmo de disciplina de reloj.</i>	26
<i>Figura 13. Arquitectura de Catiz</i>	31
<i>Figura 14: El sistema GPS</i>	33
<i>Figura 15: Funcionamiento básico del GPS</i>	34
<i>Figura 16: Intersección de las tres esferas de distancia a los satélites</i>	35
<i>Figura 17: Medición de la distancia a los satélites</i>	35
<i>Figura 18': Código pseudo aleatorio.</i>	36
<i>Figura 19: Un cuarto satélite corrige los errores en los otros tres</i>	37
<i>Figura 20: GPS 16-LVS de Garmin vista 1</i>	39
<i>Figura 21: GPS 16-LVS de Garmin vista 2</i>	39
<i>Figura 22: Conexión del GPS a un RS-232</i>	44
<i>Figura 23: Programa para configuración de GPS de Garmin</i>	46
<i>Figura 24: Conversor RJ-45 a RS-232</i>	48
<i>Figura 25: Transformador empleado para la alimentación del GPS</i>	49
<i>Figura 26: Conexión del GPS al transformador</i>	49
<i>Figura 27: Stratum 1 Offset respecto al reloj local, corrección de frecuencia en PPM y Jitter</i>	55
<i>Figura 28: Stratum 2 Offset respecto al servidor, corrección de frecuencia en PPM y Jitter</i>	56
<i>Figura 29: Stratum 2 retardo de red estimado y Offset respecto al servidor</i>	57
<i>Figura 30: Stratum 2 con en modo par. Offset respecto al servidor, corrección de frecuencia en PPM y Jitter</i>	58
<i>Figura 31: Stratum 2 en modo par. Retardo de red estimado y Offset respecto al servidor</i>	59
<i>Figura 32: Stratum 2 sondeo máximo de 16s forzado. Offset respecto al servidor, corrección de frecuencia en PPM y Jitter</i>	60
<i>Figura 33: Stratum 2 sondeo máximo de 32s forzado. Offset respecto al servidor, corrección de frecuencia en PPM y Jitter</i>	61
<i>Figura 34: Stratum 2 sondeo mínimo de 64s forzado Offset respecto al servidor, corrección de frecuencia en PPM y Jitter</i>	62
<i>Figura 35: Stratum 2 con sobrecarga de red. Offset y corrección de frecuencia en PPM</i>	63
<i>Figura 36: Stratum 2 con sobrecarga de red. Offset y RMS Jitter</i>	64
<i>Figura 37: Stratum 2 con sobrecarga de red. Offset y retardo de red estimado</i>	64
<i>Figura 38: Carga del procesador</i>	66
<i>Figura 39: Referencia UTC y Jerarquía NTP</i>	77

Capítulo 1: Introducción y Presentación

1.1. Descripción del documento

El presente documento lleva por título NTP como protocolo de sincronización para un sistema naval complejo. Contiene el proyecto fin de carrera que presenta Lorena Abad Franco y está dividido en seis grandes bloques:

- Capítulo 1: contiene una introducción y breve descripción del proyecto, justificación y objetivos.
- Capítulo 2: contiene una descripción y análisis del protocolo NTP: orígenes, modos de funcionamiento, algoritmos más importantes, configuraciones etc
- Capítulo 3: contiene una descripción de la configuración de un servidor NTP a partir de un GPS comercial.
- Capítulo 4: contiene una serie de estadísticas y pruebas realizadas sobre diversas configuraciones de redes de equipos sincronizados mediante NTP.
- Capítulo 5: Conclusión.
- Capítulo 6: Bibliografía

1.2. Listado de Acrónimos

ACK: acknowledgment code

ASCII: American Standard Code for Information Interchange

COP: Common Operational Picture

DC: 40 Volts DC

DCD: (Data Carrier Detector)

DGPS: Differential Global Positioning System

GPRMC: Recommended Minimum Specific GPS/TRANSIT Data (RMC). RMC es el nombre que en el protocolo NMEA se le da a los datos de posición velocidad y tiempo

GPWGA: Global positioning fix data. Generalized Gradient Approximation

DGPS: Differential Global Positioning System

GMT: Greenwich Mean Time

GPS: Global Positioning System

IP: Internet Protocol

LAN: local area network

NAVSTAR Navigation Satellite Timing and Ranking

NCW: Network Centric Warfare

NMEA: National Marine Electronics Association

NTP: Network Time Protocol

NTP es un protocolo en el que la hora de los clientes es ajustada de forma progresiva, mediante una serie de algoritmos de convergencia entre su hora local y la de los servidores

NTPD: Network Time Protocol Daemon

OSI: Open Systems Interconnection

PLL: Phase-Locked Loop

PPM: Position and Proper Motion

PPS: Pulse Per Second

RFC: Request For Comments

RMC: Recommended Minimum

RMS: Root mean square o valor eficaz,

RTCM: Radio Technical Commission Marine

SHMPPS: Shared Memory Pulse Per Second. Daemon que recoge los datos de la señal PPS y los guarda en un segmento de memoria compartida

SNSRCFG: Programa de Garmin para la configuración del GPS

SNTP: Single Network Time Protocol . Es un protocolo en el que un cliente pregunta la hora a un servidor y ajusta su hora local a la de este último en un solo salto, provocando una discontinuidad en su escala de tiempos.

TTL: Time To Live

UDP: User Datagram Protocol

UNIX CRON: UNIX Command Run On

UTC: Universal Time Coordinated

VFO: Variable Frequency Oscillator

WAN: Wide Area Network

1.3. Resumen breve del funcionamiento de NTP

NTP es un protocolo de Internet (aunque también es aplicable en LANs) utilizado para sincronizar los relojes de sistemas informáticos a través del envío y recepción de paquetes a través de una red de clientes y servidores de hora. Esta red se denomina *red de sincronización*.

NTP funciona sobre UDP utilizando el puerto 123 como nivel de transporte. Tanto los clientes como los servidores, han de tener en marcha de forma local el demonio ntpd. Este demonio se ejecuta en segundo plano y se encarga, tanto de enviar como de recibir los paquetes con el formato de datos de NTP (ver anexo II formato de datos de NTP)

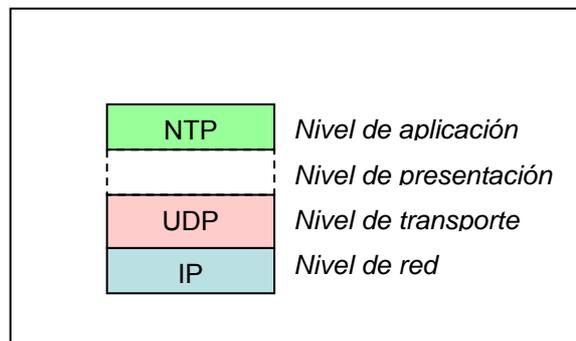


Figura 1: NTP en la torre de protocolos OSI

El formato de la red de sincronización es muy variado ya que NTP permite muy diversos modos de intercomunicación: broadcasting, multicasting, establecimiento de pares, cliente servidor... etc. Esto hace que el diseño de una red de sincronización para una pequeña LAN sea una tarea de ingeniería en la que hay que tomar numerosos factores en consideración.

Además de todo esto la red sincronización esta organizada jerárquicamente, según la precisión de sus relojes y la fiabilidad del servidor. Los sistemas de stratum 1 están sincronizados con un reloj externo tal como un reloj GPS ó algún reloj de radio. Los sistemas de stratum 2 de NTP derivan su tiempo de uno ó más de los sistemas de stratum 1, y así sucesivamente. Esto hace que el diseño de una red de sincronización para una pequeña LAN sea una tarea de ingeniería en la que hay que tomar numerosos factores en consideración.

Un ejemplo:

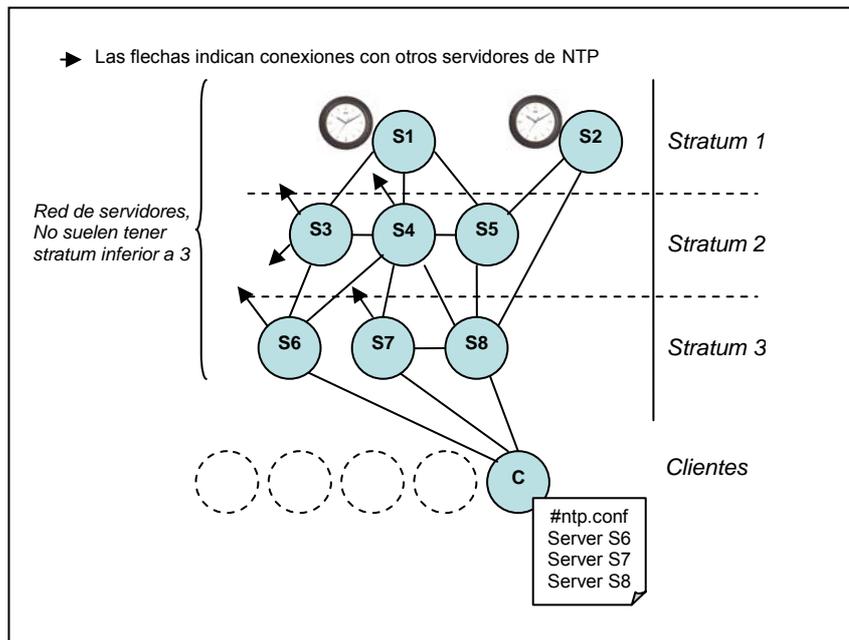


Figura 2: Ejemplo de red de sincronización

Cuando el cliente se “conecta” este demonio, inicia un intercambio de mensajes con los servidores que se le han indicado a través de un fichero de configuración ntp.conf. Al inicio y durante cierto tiempo, el intercambio de mensajes será muy numeroso. Conforme el reloj va reduciendo su offset respecto a la hora del servidor, el intervalo de tiempo entre un sondeo y el siguiente aumentará, aunque este intervalo se modifica de forma dinámica mediante los algoritmos locales de reloj. Eso si, para evitar colapsar la red, el intervalo de sondeo inicial se modifica en unos cuantos segundos de forma aleatoria.

Lo primero que hace ntpd, una vez que ha establecido contacto con los servidores es seleccionar un *servidor preferido*. El tiempo que tarde en sincronizarse con este servidor preferido dependerá de si existe o no el fichero de frecuencia o *drift file*. Este fichero incluye la ultima estimación del error en frecuencia del reloj local respecto a un reloj “ideal”. Este valor se modifica en intervalos de una hora aproximadamente. Y se calcula a partir de los datos que obtiene de los servidores.

Que el cliente seleccione un *servidor preferido* de la lista de servidores dada, no quiere decir que deje de recibir datos de los otros servidores, ni que estos datos no sean tenidos en cuenta, ya que el *servidor preferido* puede variar en función de los datos que se vayan recibiendo. Esto se lleva a cabo mediante el *algoritmo de clustering*

Una vez, que se han recibido los datos de los servidores de hora, ntpd lleva a cabo una serie de procedimientos de filtrado, selección y combinación encargados de calcular el retardo, la dispersión de los datos recibidos y el offset respecto a nuestro reloj. El resultado de estos cálculos se utiliza para una corrección de nuestro reloj local.

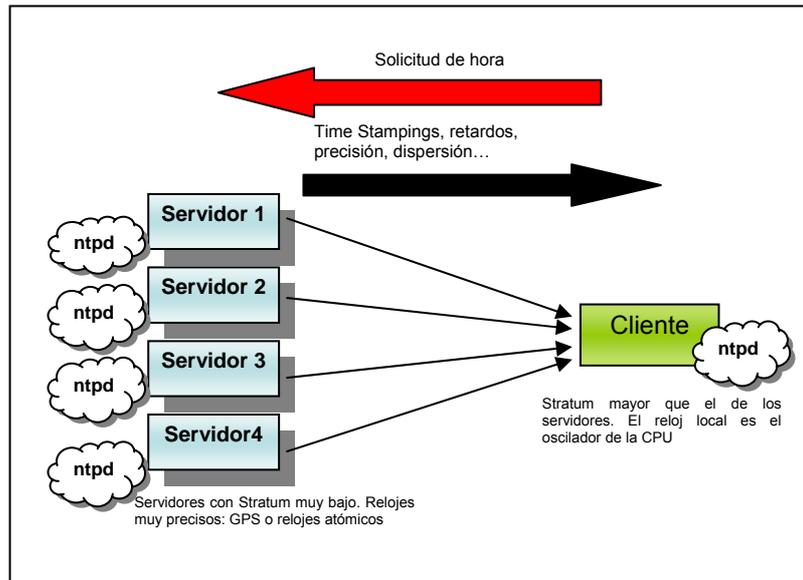


Figura 3: Esquema básico de funcionamiento

Por supuesto, todos los parámetros que se han mencionado: intervalos de sondeo, servidor preferido e incluso el driftfile pueden ser modificados directamente por el usuario, aunque esto, salvo casos excepcionales, no es recomendable dada la fiabilidad y buen funcionamiento de este protocolo.

1.4. Justificación: Aplicación a sistemas distribuidos geográficamente. Colaboración entre sistemas navales y aéreos funcionando en red

Actualmente y como resultado del éxito de la aplicación masiva de las nuevas tecnologías, los ejércitos, operan en base a compartir entre otros muchos tipos de información, la información operativa o de combate.

Para que esta información sea de valor, ha de ser coherente en todos los elementos de presentación de los diferentes sistemas que participan en la red, que deben sacar provecho de sensores y armas que muy probablemente no sean los de la propia unidad o la plataforma en la que están funcionando sino que en realidad forman parte de una red que se extiende por toda la zona de operaciones y que tiene tres niveles claramente diferenciados:

- el nivel de los sensores,
- el del mando y control
- y el de los actuadores.

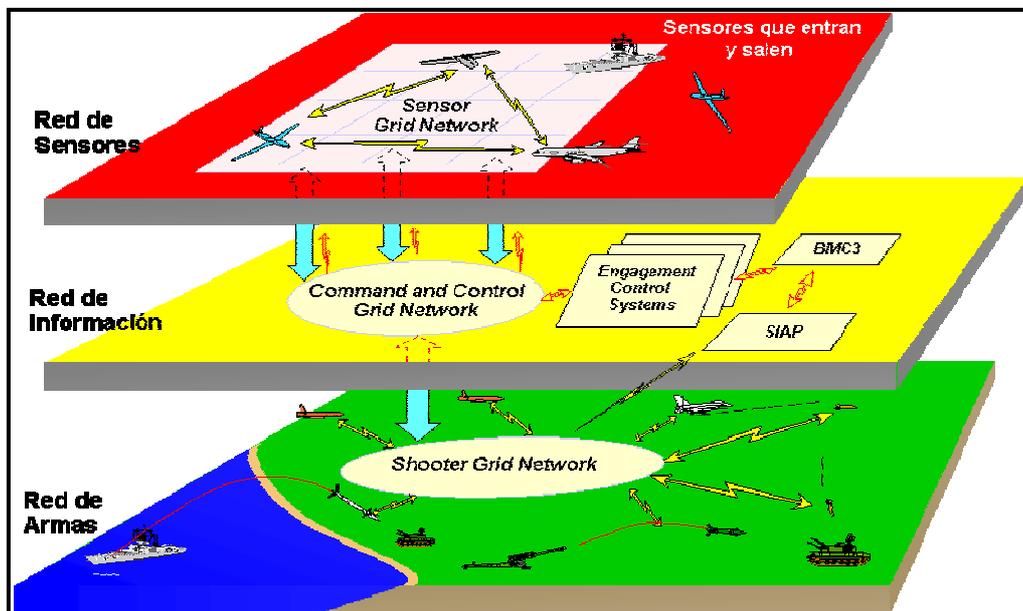


Figura 4: Las tres redes que se consideran en NCW

Además, estas redes no son ni mucho menos estáticas, es decir, hay sensores, actuadores o elementos de mando y control que entran y salen de estas redes

Esta información que, siendo coherente y estando a disposición de los elementos involucrados en el momento oportuno, proporciona un nuevo marco desde el que examinar tanto las misiones como la manera de realizar las operaciones e incluso las organizaciones militares.

Esta nueva manera de operar, reconoce la información como fuente potencial de poder y se denomina Network Centric Warfare: en adelante NCW.

NCW, se centra en las nuevas posibilidades que se generan con el enlace efectivo o el funcionamiento en red de los sistemas de las unidades que participan en una operación

Se caracteriza por la habilidad de fuerzas geográficamente dispersas en crear un alto grado de conocimiento del espacio donde se localizan.

Hay numerosos factores que se van a ver positivamente afectados por la creación de un espacio de conocimiento conjunto que sirva de base de información a los elementos participantes, pero tal vez la más importante sea la de la creación de una presentación en los sistemas de mando y control que sea una “foto instantánea” común de los elementos en el campo. Esto es lo que se denomina “Common Operational Picture” (COP)

En esta presentación sobre un substrato cartográfico, se presentan los elementos de interés (unidades, vehículos etc.).

Dado que estos elementos no son estáticos (Barcos, aviones vehículos etc) es muy importante disponer de una alineación temporal que permita la colaboración entre por ejemplo dos barcos a la hora de realizar una maniobra conjunta, o bien permitir que a un actuador se le pasen los datos procedentes de un sensor de otra unidad diferente.

Disponer de un sistema fiable de referencia temporal sería por tanto muy interesante para los nuevos desarrollos de sistemas que deban operar en el futuro y que permitan la colaboración en las redes de sensores, armas o mando y control de elementos de diferentes unidades o de diferentes ejércitos (tierra, mar o aire) e incluso de diferentes naciones.

La evaluación de NTP es un medio barato y al alcance de todos que nos puede permitir obtener conclusiones sobre las diferentes alternativas de sistemas de referencia temporal absoluta para sistemas de navales complejos, que deban operar en entornos combinados y conjuntos.

1.5. Objetivos del proyecto

El objetivo fundamental de este proyecto es comprobar la validez de NTP como protocolo de sincronización, en general para cualquier sistema de máquinas en una red cerrada y aislada del exterior con un sistema con una jerarquía de stratum y una fuente principal de tiempo proveniente de una señal GPS. Esta comprobación se realiza mediante un conjunto de pruebas y estadísticas sobre la desviación de tiempo entre equipos y de la solidez de este protocolo.

Se han realizado las siguientes pruebas:

- Estudio en profundidad de los algoritmos y funcionamiento de NTP.
- Influencia de la sobrecarga de la red en el correcto funcionamiento del protocolo.
- Influencia de la sobrecarga del procesador de la máquina cliente en el correcto funcionamiento del demonio ntpd.
- Influencia de las diferentes configuraciones de la red de sincronización.
- Elaboración de estadísticas a partir de los datos obtenidos

Se han llevado a cabo pruebas con diversas configuraciones de equipos y se ha fabricado un servidor a partir de una antena receptora de GPS.

Capítulo 2: Análisis De NTP

2.1. Descripción de NTP

NTP (“Network Time Protocol”) es un protocolo diseñado para sincronizar los relojes de las máquinas conectadas a través de una red. La versión 3 de este protocolo es un “Internet Draft Standard”, formalizado en la RFC (Request For Comments) 1305. El protocolo NTP versión 4 es una importante revisión del estándar mencionado, y se encuentra en desarrollo, pero aún no ha sido formalizado en una RFC.

Los objetivos principales de diseño de NTP son los siguientes:

- *Proporcionar un servicio que permita a los clientes a lo largo de Internet estar sincronizados de forma precisa a UTC:* NTP emplea técnicas estadísticas para el filtrado de los datos de tiempo y discrimina entre la calidad de los datos de tiempo de los diferentes servidores.
- *Proporcionar un servicio fiable que pueda sobrevivir a pérdidas largas de conectividad:* los servidores pueden reconfigurarse para continuar proporcionando el servicio si uno de ellos llega a ser inalcanzable.
- *Permitir a los clientes sincronizarse con suficiente frecuencia para compensar las tasas de deriva encontradas en la mayoría de los computadores.*
- *Proporcionar protección contra la interferencia con el servicio de tiempo, ya sea maliciosa o accidental.*
- *Por tanto podemos decir que el NTP sirve para sincronizar relojes de hosts y routers en una red (WAN o LAN).*

La arquitectura, protocolo y algoritmos de NTP han ido evolucionando durante los últimos 20 años hasta llegar a la versión 4 que es la utilizada actualmente y, prácticamente, la totalidad de las distribuciones GNU/Linux incluyen un paquete de software que implementan este protocolo. En el caso de S.O. Windows el cliente incluido en la instalación implementa el protocolo SNTP.

SNTP es una versión simplificada, SNTP (Single Network Time Protocol versión 4) se describe en la RFC 2030. Se creó a partir de NTP.

Las diferencias fundamentales entre NTP y SNTP son, básicamente:

- NTP es un protocolo en el que la hora de los clientes es ajustada de forma progresiva, mediante una serie de algoritmos de convergencia entre su hora local y la de los servidores, de modo que la escala de tiempos se mantiene sin discontinuidades.
- SNTP es un protocolo en el que un cliente pregunta la hora a un servidor y ajusta su hora local a la de este último en un solo salto, provocando una discontinuidad en su escala de tiempos.

En las primeras versiones de NTP se podía establecer una sincronización con precisión de milisegundos, pero actualmente los equipos y redes son mucho más rápidos por lo que es necesaria una mayor precisión. Con la última versión de NTP se proporcionan precisiones de decenas de milisegundos en WANS, milisegundos en LANS y microsegundos usando como fuente de precisión de tiempo un oscilador de cesio o un receptor GPS.

NTP no se basa en el principio de sincronizar todas las máquinas entre sí, sino en el de mantenerlas lo más cerca posible de la hora correcta.

Las configuraciones NTP típicas utilizan múltiples servidores redundantes y diversos caminos de red, con el objetivo de obtener la máxima precisión y fiabilidad.

2.2. Componentes de NTP

La distribución más extensamente utilizada es la del software NTPD, que es "Open Source", distribuido bajo licencia GNU, y puede obtenerse de www.ntp.org. Los componentes principales de la versión 4.2.2 de ntpd son:

- **ntpd:** Es un demonio NTP que se ejecuta en segundo plano y mantiene sincronizada la fecha y la hora basándose en la respuesta de los servidores NTP configurados. También actúa como servidor NTP. Tiene una gran cantidad de opciones avanzadas de configuración. Bajo condiciones normales de funcionamiento, ntpd ajusta el reloj en pequeños pasos de modo que la escala de tiempos no tenga discontinuidades. Esto se realiza siempre que el "offset" del reloj del cliente no exceda de un valor determinado (por defecto 128 ms., aunque es configurable). Por encima de este valor, se produciría un salto para ajustar el tiempo del cliente, a no ser, que el ntpd se ejecute en el cliente con la opción `-x` en cuyo caso el reloj se ajustaría en pequeños pasos, a no ser que el "offset" fuese mayor que 600 segundos. En tal caso se produciría un salto en el reloj local del cliente.

- **ntpdate**: Un cliente lo ejecuta para, en un solo salto, ajustar su hora a la de un servidor. Es lo que realizan los clientes SNTP. Únicamente en el momento de su ejecución se puede decir que el cliente tiene la misma hora que el servidor. Es un comando que está en desuso, ya que, actualmente, se utiliza una opción del demonio ntpd que realiza una acción similar (-q), o un cliente SNTP como el que se comenta a continuación. Normalmente se usa para establecer la hora del cliente, en un salto, antes de ejecutar el demonio ntpd.
- **sntp**: Este programa es un cliente SNTP que puede ser utilizado para interrogar a un servidor NTP acerca de su hora y que muestra el "offset" del reloj local del cliente respecto al del servidor. Asimismo, si se ejecuta con los privilegios adecuados, puede corregir el reloj local para que tenga la misma hora que el servidor, siendo, en este caso, su funcionamiento similar al del obsoleto ntpdate.
- **ntpdc, ntpq**: Sirven para monitorizar el estado y la configuración del demonio ntpd.
- **ntptrace**: Muestra el camino de servidores NTP hasta la fuente primaria desde el cliente en que se ejecuta.
- **ntpsim**: se trata de una adaptación del demonio de ntpd. Opera como un simulador de tiempo discreto usando Fuentes de sincronización especificadas por el usuario mediante una serie de comandos sencillos. Incluye los algoritmos de mitigación de errores y de disciplina del reloj del auténtico ntpd, pero con los paquetes de I/O y los algoritmos de de reloj del sistema simulados. La mayoría de las funciones de ntpd permanecen intactas, incluidas las de monitorización, almacenamiento de estadísticas y resolución del nombre del host

2.3. Características principales

El protocolo de sincronización determina la diferencia entre la hora del reloj del servidor en relación a la hora del cliente. Bajo petición, el servidor envía un mensaje incluyendo el valor de la hora en ese momento ("timestamp"), y el cliente lo almacena en su "timestamp". Para mayor precisión, el cliente necesita medir el retraso de la propagación desde el servidor al cliente para determinar su offset relativo al servidor. Pero como no es posible determinar el retraso de un camino, a menos que el offset actual sea conocido, el protocolo mide el retraso total en dar toda la vuelta y asume que los tiempos de propagación son estáticamente iguales en cualquier dirección.

En general, esto es una aproximación útil. Lo que ocurre, como se comentó con anterioridad, es que en la actualidad se hace imprescindible una mayor precisión en la hora del reloj local. Para ello se incorporaron los siguientes mecanismos de mejora:

- Mejoras en los modelos de reloj que predicen con más precisión la fase y frecuencia del ruido para cada fuente de sincronización y ruta de red.
- Algoritmos que reducen el impacto del retraso y de las imprecisiones del reloj.
- Rediseño de los algoritmos de disciplina del reloj que pueden operar con bloqueos de frecuencia, fase o un modelo híbrido.

Las mejoras confirmadas por simulación, incrementan la precisión en un factor de décimas, mientras permiten que los intervalos de sondeo sean mucho mayores sin significantes reducciones en la precisión.

El servicio de NTP está proporcionado por una red de servidores localizados a través de Internet. Los servidores primarios están conectados directamente a una fuente de tiempo como un radioreloj recibiendo UTC; los servidores secundarios están sincronizados con servidores primarios.

- Los servidores primarios ocupan el stratum 1: está conectado a un reloj de referencia de alta precisión. Esta referencia puede ser, por ejemplo, un reloj atómico, o un receptor de radio o GPS.
- Los servidores del stratum 2 son servidores secundarios que están sincronizados directamente con los servidores primarios.
- Los del stratum 3 están sincronizados con los del stratum 2; y así sucesivamente.
- Los servidores del nivel más bajo (hojas) se ejecutan en las estaciones de trabajo de los usuarios.
- El árbol podría seguir extendiéndose hasta 16 niveles.

Cuanto más alejado esté una computadora del reloj de referencia, o sea, cuanto más alto sea su Stratum, menos precisa será la sincronización. Sin embargo, cualquier Stratum siempre será suficiente para que el reloj no se aleje más de unos milisegundos de la hora real.

En la figura se muestra un esquema de esta estructura:

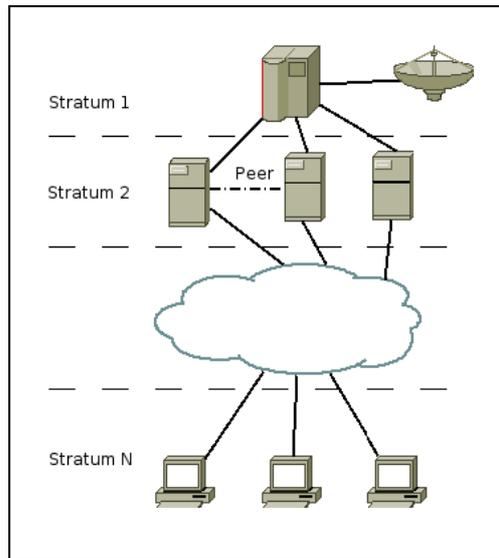


Figura 5: Diagrama de Jerarquía NTP

El protocolo NTP puede funcionar en uno o más modos de trabajo:

- *Modo cliente/servidor*, también llamado maestro/esclavo. En este modo un servidor acepta solicitudes de otros computadores (clientes), que el procesa respondiendo con su marca de tiempo. Este modo es adecuado donde se requieren precisiones más altas que las que se pueden conseguir con broadcast, o donde el broadcast no viene soportado por hardware.
- *Modo simétrico* (“peers”), el cual permite a cada uno de los dos servidores sincronizarse con otro, para proporcionarse copias de seguridad mutuamente. El modo simétrico está pensado para su utilización por servidores que proporcionan información del tiempo en LANs y por los niveles más altos de la subred de sincronización. Un par de servidores operando en modo simétrico intercambian mensajes llevando información del tiempo. Los datos del tiempo son retenidos como parte de una asociación entre los servidores que se mantiene con el fin de mejorar la precisión de su sincronización en el tiempo.
- *Modo broadcast* por el cual muchos clientes pueden sincronizarse con uno o varios servidores, reduciendo el tráfico en la red cuando están involucrados un gran número de clientes. Está pensado para su uso en una LAN de alta velocidad. Uno o más servidores reparten periódicamente el tiempo a los servidores que se ejecutan en otros computadores conectados en la LAN, que fijan sus relojes suponiendo un pequeño retardo. Este método puede alcanzar

sólo precisiones relativamente bajas, pero que no obstante son consideradas suficientes para muchos propósitos

- *Modo multicast IP* también puede ser usado cuando la subred abarca múltiples redes de trabajo..

En todos los modos, los mensajes se entregan de modo no fiable, utilizando el protocolo de transporte estándar Internet UDP. En el modo cliente/servidor y en el modo par, los procesos intercambian pares de mensajes. Cada mensaje lleva marcas de tiempo de los sucesos del mensaje reciente: los tiempos locales cuando el mensaje anterior NTP fue enviado y recibido y el tiempo local cuando el mensaje actual fue transmitido. El receptor del mensaje NTP anota el tiempo local cuando el recibe el mensaje.

2.4. Descripción de los algoritmos y de la arquitectura de NTP

2.4.1. Aproximación a la arquitectura NTP

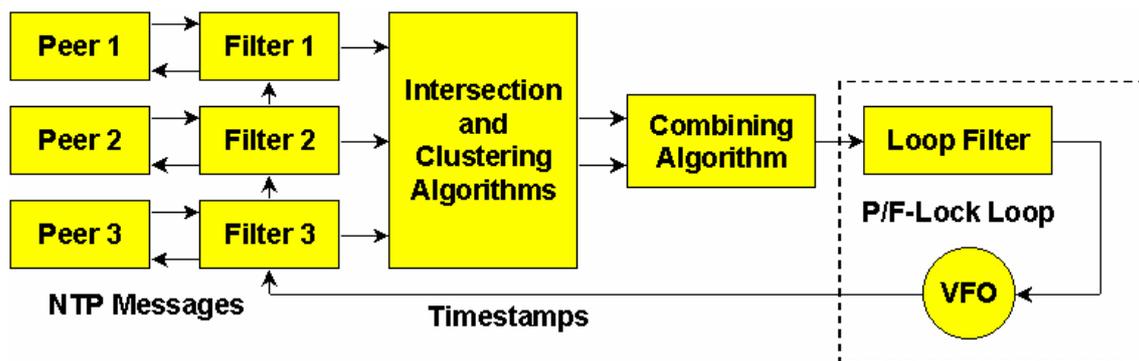


Figura 6: Arquitectura NTP

El algoritmo de filtrado usado en NTP se basa en la observación de que el intervalo correcto depende del retraso del viaje de ida y vuelta del mensaje. El algoritmo va acumulando muestras de offsets/retrasos en una ventana y selecciona la muestra de offset que se corresponden con el mínimo retraso. En general, las ventanas grandes proporcionan mejores estimaciones, sin embargo, por consideraciones de estabilidad se limita el tamaño de la ventana a 8.

Los algoritmos de intersección y clustering cogen la mejor y descartan el resto

Los algoritmos de combinación computan la media de los offsets de tiempo.

El filtro del bucle y la variación de la frecuencia del oscilador (VFO) implementan bloqueos híbridos de la fase y la frecuencia realimentando a los otros filtros para minimizar el jitter y fluctuaciones NTP.

Proceso de descomposición

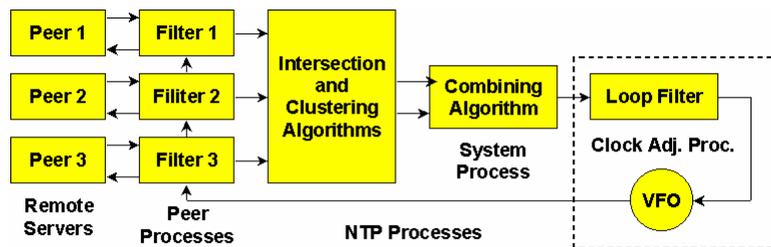


Figura 7: Proceso de descomposición

Cada proceso de pareja (Peer Process) corre independiente en intervalos de muestreo determinado por el proceso del sistema y por servidores remotos.

Cada proceso del sistema (system process) corre en intervalos de muestreo determinados por la medida de la fase del jitter de red y de la estabilidad de la frecuencia del oscilador del reloj local.

El proceso de ajuste del reloj (clock adj. proc.) corre en 1-s intervalos para disciplinar la fase y frecuencia de las variaciones de la frecuencia de oscilación

Si hacemos un análisis del flujo de datos NTP obtenemos lo siguiente:

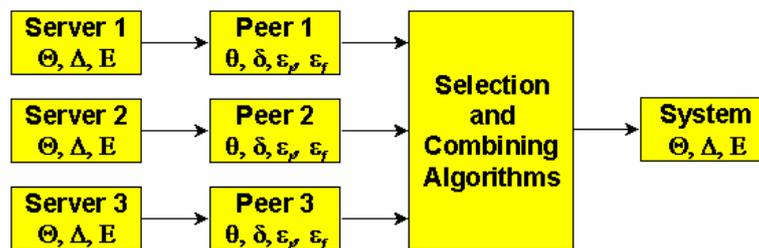


Figura 8: Flujo de datos de NTP

Cada servidor remoto calcula las variables propias del servidor:

- Θ = offset,
- Δ = retraso

- E = dispersión relativa a la raíz de la sincronización del subárbol.

En cada mensaje NTP de llegada, el peer actualiza el offset θ , retraso δ , la dispersión de la fase ε_r y la dispersión de la frecuencia ε_f propios a partir de las marcas de tiempo (timestamps) y los algoritmos de filtrado de reloj.

En los intervalos de muestreo del sistema, los algoritmos de selección y combinación del reloj actualizan las variables, Θ , Δ y E del sistema.

Las dispersiones de la frecuencia ε_f y la E se incrementan con el tiempo en una tasa que depende de la tolerancia específica de la frecuencia según el algoritmo de filtrado del reloj.

2.4.2. Algoritmos de NTP

2.4.2.1 Algoritmo de filtrado de reloj

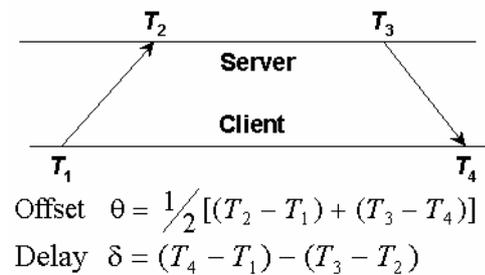


Figura 9: Algoritmo de Filtrado

La mayor precisión del offset θ es medida con el menor retraso δ . La dispersión de la fase ϵ_r es la media de las diferencias de offset sobre las últimas 8 muestras- usado como un estimador del error.

En una implementación muestras de (δ_i, θ_i) son desplazadas en una ventana de 8 registros de desplazamiento desde la primera a la última, causando que viejas muestras sean desplazadas por las otras. Entonces, las 8 muestras son puestas en una lista temporal ordenadas en orden por el aumento de δ .

La primera muestra en la lista (δ_0, θ_0) representa los estimadores $(\delta^{\wedge}, \theta^{\wedge})$, los cuales son almacenados para cada peer separadamente para después procesarlos por los algoritmos de combinación y selección.

La dispersión filtrada es interpretada como un indicador de calidad.

Un buen estimador es el peso de las diferencias de θ_i en una lista ordenada temporalmente relativa a θ_0 .

Asumimos que la lista tiene $n > 1$ entradas ($n = 8$ normalmente) con (δ_j, θ_j) ($j = 0, 1, \dots, n-1$) muestras en orden incremental de δ_i . El filtro de la dispersión ε es definido como

$$\varepsilon = \sum_{j=0}^{n-1} |\theta_j - \theta_0| v_j,$$

donde v es un factor de ajuste.

La dispersión de la frecuencia ε_f representa la lectura del reloj y la frecuencia de tolerancia a errores-usado en métrica de distancia.

La distancia de sincronización $\lambda = \varepsilon f + \delta/2$ -

usada como distancia métrica y máximo límite de error, hasta que la hora correcta $\square 0$

este en el rango:

$$\theta - \lambda \leq \theta_0 \leq \theta + \lambda$$

Este algoritmo reduce en diez el error estándar

2.4.2.2. Algoritmo de intersección

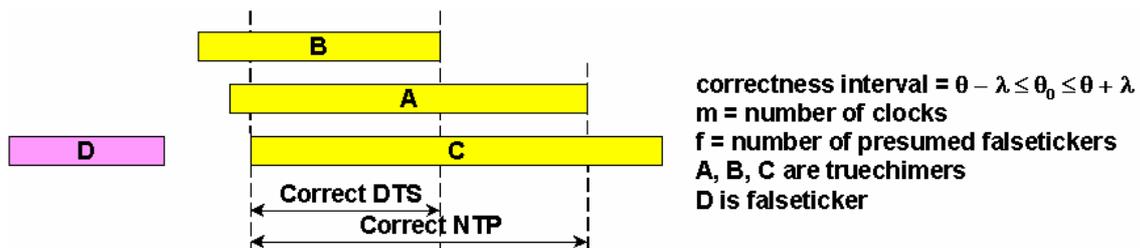


Figura 10: Algoritmo de intersección

El algoritmo NTS (de intersección) requiere que el punto medio del intervalo este en la intersección.

- Inicialmente, pone a 0 f (falsotick), los contadores c y d
- Lee del mas lejano de la izquierda: añade uno a c para cada final de punto bajo, y le resta uno para cada final de punto alto, añade uno a d para cada punto medio
 - Si $c \geq m - f$ y $d \geq m - f$, declara éxito y sale del procedimiento.

- Hace lo mismo empezando por la parte mas lejana de la derecha.
 - Si no hay éxito, se incrementa f en uno y se intenta de nuevo
 - Si $f \geq m/2$, error

2.4.2.3 Algoritmo de formación de conglomerados:

El algoritmo de formación de conglomerados nos va a servir para seleccionar el mejor subconjunto de servidores y combinar después sus diferencias para determinar el ajuste del reloj. Sin embargo, los diferentes servidores muestran diferentes diferencias sistemáticas, así que la mejor estadística no es obvia. Varias clases de algoritmos de formación de conglomerados han sido encontrados para este propósito. El que usa NTP se basa en ordenar las diferencias por una cualidad métrica, entonces calcula la varianza de todos los servidores en relación a cada servidor separadamente. El algoritmo repetidamente deprecia al que tiene la mayor varianza hasta que permanezcan el mínimo numero de servidores. El ajuste final del reloj se computa como una media de los supervivientes.

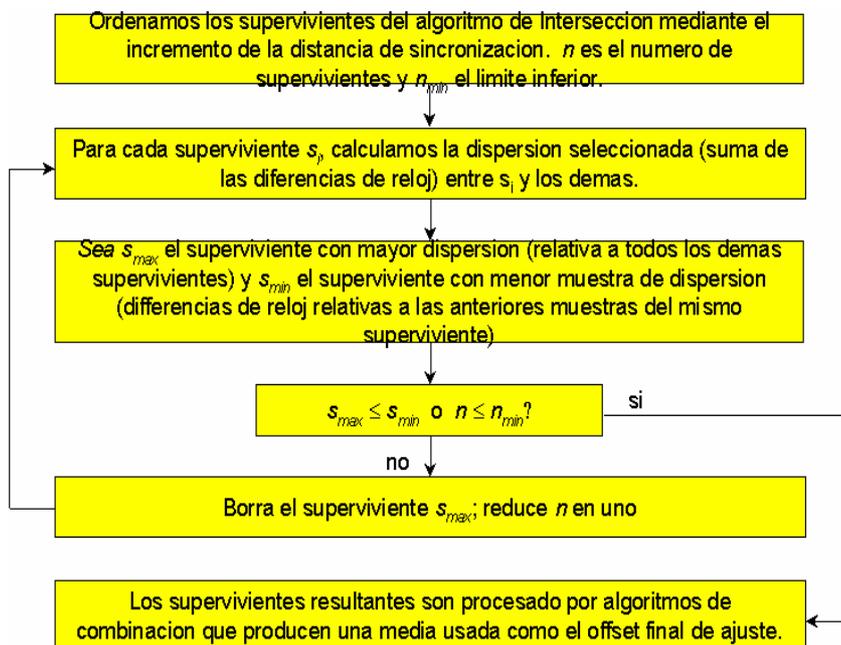


Figura 11: Algoritmo de formación de conglomerados.

2.4.2.4 Algoritmos de selección y combinación

El algoritmo NTP de selección, esta basado en principios de la estadística y observaciones pragmáticas donde la mayor fiabilidad esta normalmente asociada con el stratum mas bajo y dispersión de sincronización, mientras que la mayor precisión esta asociada con el stratum mas bajo y distancia de sincronización..

El algoritmo de selección de peer comienza construyendo una lista de candidatos peers ordenados primero por el stratum y después por la dispersión de sincronización. Para ser incluido en la lista de candidatos un peer debe pasar varios test diseñados para detectar errores descartados e implementaciones defectuosas. Si ningún peer pasa los test la fuente de sincronización existente, se cancela y el reloj local corre a su frecuencia intrínseca.

La lista puede ser recortada desde el final hasta un limite máximo y un stratum máximo.

El siguiente paso es diseñar el detector de falsetickers u otras condiciones que pudieran dar errores graves.

La lista de candidatos es reordenada primero por stratum y después por distancia de sincronización.

Sea $m > 0$ el numero de candidatos que permanecen en la lista y sea θ_j el offset de el jth candidato. Para cada $j \in \{0, \dots, m-1\}$ la dispersión seleccionada ε_j relativa al candidato j se define como

$$\varepsilon_j = \sum_{k=0}^{m-1} |\theta_j - \theta_k| w^k$$

Donde w es un factor experimental ajustado para las características deseadas. Entonces descartamos el candidato con máxima ε_j o, en caso de empate el de máximo j , y repetimos el procedimiento. El procedimiento termina cuando la máxima dispersión seleccionada sobre todos los candidatos que quedan es menor que el mínimo filtro de dispersión de cada candidato o hasta que quede un solo candidato.

Los procedimientos están diseñados para favorecer aquellos peers que están cerca del principio de la lista, que son los de menor stratum y el mas bajo retraso, y presumiblemente pueden proporcionar la hora con mas precisión.

Con la apropiada selección de los factores de peso w , los alejados serán descartados del final de la lista, a menos que otras entradas tengan una discordancia significativa con respecto a las entradas que permanecen en la lista, en cuyo caso la entrada es descartada.

Los offsets de los peers que permanecen en la lista de candidatos son estáticamente equivalentes, así que cualquiera de ellos puede ser elegido para ajustar el reloj local.

Algunas implementaciones combinan esto usando un algoritmo de media, en el cual los offsets de los peers que permanecen en la lista son pesados por un estimador de error para producir una estimación combinada. En esas implementaciones de estimación del error es tomada para ser la recíproca de la dispersión de sincronización.

Para actualizar este procedimiento también ponemos el stratum local a uno mayor que el peer seleccionado. Además la distancia de sincronización del servidor y la suma de las dispersiones totales a la raíz de la subred de sincronización son calculadas y almacenadas en una variable de estado del sistema. Todo esto se incluye en la cabecera del mensaje NTP.

2.4.2.5 Algoritmo de disciplina del reloj

En el corazón de los protocolos de sincronización está el algoritmo usado para ajustar el reloj del sistema en concordancia con el ajuste final determinado por el resto de algoritmos. Esto es llamado algoritmo de disciplina del reloj o simplemente disciplina. Este algoritmo puede ser clasificado dependiendo de si minimiza el tiempo de offset, la frecuencia de offset o ambos. Por ejemplo, NTP minimiza ambos, tanto el offset de tiempo como el de frecuencia por lo que es más complicado y menos indulgente en cuanto los errores de diseño y de implementación.

Todos los algoritmos de disciplina del reloj funcionan como un bucle realimentado, con offsets medidos usados para ajustar la fase y la frecuencia del oscilador. El comportamiento del bucle realimentado es bien comprendido y modelado mediante análisis matemático. Los parámetros de diseño significativos son la constante de tiempo, o la sensibilidad a las variaciones externa o internas variaciones tanto en el tiempo como en la frecuencia. Una óptima selección de la constante de tiempo depende del intervalo entre los mensajes de actualización. En general, cuanto mayor sea la longitud de estos intervalos, más amplia será la constante de tiempo y viceversa. En la práctica y con una configuración de red típica los intervalos óptimos de sondeo varían entre uno y 20 minutos para rutas de red a algunos miles de minutos para rutas de módems.

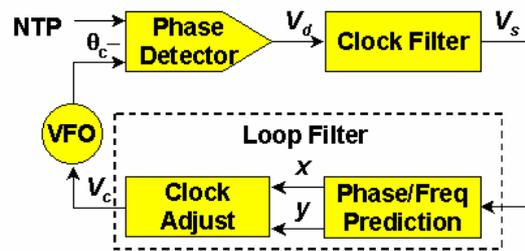


Figura 12: Algoritmo de disciplina de reloj

- V_d es una función de las diferencias de fase entre NTP y el VFO
- V_s depende de la elegida en el registro de desplazamiento del filtro del reloj.
- x e y son la fase y la frecuencia actualizadas, respectivamente, computadas por funciones de predicción
- El proceso de ajuste del reloj corre una vez por segundo para computar V_c , que controla La frecuencia del oscilador de reloj local
- La fase de VFO se compara a la fase NTP cerrando el bucle de realimentación.

2.4.3. Configuración de un cliente y un servidor. Descripción del archivo de configuración

La configuración de los modos de funcionamiento, de la jerarquía, etc., se realiza mediante la manipulación de un fichero de configuración (típicamente /etc/ntp.conf), independientemente de que el equipo funcione como cliente o como servidor.

En este fichero todos los parámetros requeridos para el correcto funcionamiento del protocolo. Esto es necesario tanto para configurar el servidor como para configurar el cliente, ya que al arrancar ntpd (el demonio NTP), lee el archivo de configuración ntp.conf al iniciarse, para determinar las fuentes de sincronización y los modos de operación. También es posible especificar una configuración válida, aunque limitada desde la línea de comandos, obviando la necesidad de un archivo de configuración.

Así pues, aunque hay infinidad de opciones, banderas etc aplicables a este fichero, parece oportuna la descripción de, al menos las opciones más básicas de configuración.

```
#OPCIONES PARA EL CONTROL DE ACCESO
#Permite la sincronización con nuestra fuente de tiempo, pero no
#permite a la fuente interrogar (noquery) o modificar el servicio en
#nuestro sistema(nomodify) y declinando proveer mensajes de registro
#(notrap), pero si permite enviar un paquete explicando los motivos
#del rechazo del mismo a la fuente originadora (Kiss-of-Death) (kod).O
#que la fuente establezca modo simetrico con nuestra maquina.
#Estas restricciones también se puede establecer de forma individual
#para cada servidor
restrict default kod nomodify notrap nopeer noquery
restrict -6 default kod nomodify notrap nopeer noquery

#Permite el acceso durante todo el bucle.
#Esta es la opción por defecto, si hacemos esta condición mas
#restrictiva, podrían verse afectadas algunas funciones
administrativas
restrict 127.0.0.1
restrict -6 ::1

#Podemos hacer que las condiciones en nuestra red local sean menos
#restrictivas
#restrict 192.168.1.0 mask 255.255.255.0 nomodify notrap

#SERVIDORES PÚBLICOS DE NTP
# La palabra clave server es lo que los identifica.
# La palabra clave dynamic hace que, aunque se pierda temporalmente la
# conexión con ese servidor no sea descartado
server 0.fedora.pool.ntp.org dynamic
server 1.fedora.pool.ntp.org dynamic
server 2.fedora.pool.ntp.org dynamic
```

```
#SERVIDOR/CLIENTE BROADCAST
# En este modo es importante emplear siempre autenticación ya que
# cualquiera puede inyectar información maliciosa en el sistema

# Un servidor broadcast necesita una dirección de broadcast en la
# subred local
#broadcast 192.168.1.255 key 42

# Para configurar un cliente broadcast basta con usar
# la palabra clave broadcastclient
# broadcastclient

#SERVIDOR/CLIENTE MULTICAST
# Al igual que en el modo broadcast, aquí también es importante la
# autenticación de los servidores

# Un servidor multicast se configura igual que un servidor broadcast
#pero usando una dirección de multicast en lugar de una de broadcast
#broadcast 224.0.1.1 key 42

# Para configurar el cliente se usa el comando multicastclient junto
# con una dirección de multicast
# multicastclient 224.0.1.1

#SERVIDOR/CLIENTE MULTICAST
#manycastserver 239.255.254.254
#manycastclient 239.255.254.254 key 42

#PEER
#Un peer es un equipo que tiene la misma precisión que nosotros pero
#nos sirve como Backup
#peer 195.47.2.3

#RELOJ LOCAL
# Este es un controlador emulado que se utiliza sólo como
# respaldo cuando ninguna de las fuentes reales están
# disponibles.
#server 127.127.1.0 # local clock
#fudge 127.127.1.0 stratum 10

# ARCHIVO DE FRECUENCIA
# Hay que especificar una ruta a la que ntpd tenga acceso
driftfile /var/lib/ntp/drift

# ARCHIVO DE CLAVES
# Este archivo contiene las claves y los identificadores de claves que
#se usan si se operan con criptografía con clave simétrica.
keys /etc/ntp/keys
```

```
# ESTADÍSTICAS
#Ficheros de estadísticas
statsdir /home/lorena/Escritorio/ntpstats/

#Habilitación de los distintos tipos de estadísticas
statistics loopstats peerstats clockstats

# Archivos que se generarán a diario con las estadísticas
filegen loopstats file loopstats type day enable
filegen peerstats file peerstats type day enable
filegen clockstats file clockstats type day enable
filegen sysstats file sysstats type day enable
```

Capítulo 3: Entorno de Realización

3.1. Catiz

Catiz es un centro de cálculo que funciona con varios servidores y tiene una doble red de área local.

Es un simulador de un sistema de naval complejo, en él, cada uno de los equipos simula una consola, un sensor o una actuador. También tenemos un servidor de tiempo NTP ELPROMA NTS-3000 (ver especificaciones en el anexo III) con el que se llevarán a cabo gran parte de los experimentos con NTP para comprobar su validez en un sistema real.

En la figura, todo lo englobado del cuadro amarillo representa a los distintos procesadores que soportan las distintas aplicaciones encargadas de seguir trazas, cálculo de trayectorias de tiro etc. Debido a la naturaleza de éstas operaciones es necesaria una gran sincronización entre los distintos equipos.

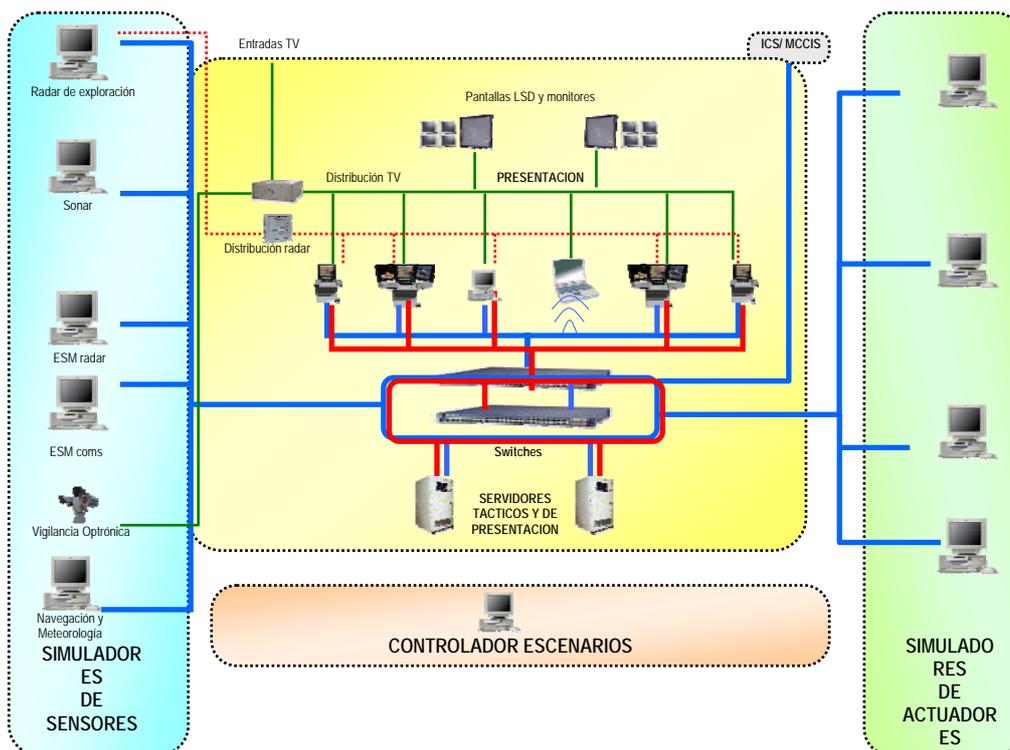


Figura 13. Arquitectura de Catiz

3.2. Mi servidor particular con el GPS de Garmin

Como complemento a las instalaciones descritas del Catiz y con objeto de tener la posibilidad de establecer una fuente alternativa de sincronización en caso de fallo de la central horaria, surgió la idea de configurar un servidor a partir de un GPS de uso comercial de, relativamente muy bajo coste (unos 100€). Más adelante en los apartados desde el 3.2.2 hasta el 3.2.4 se describe esto con más detalle

3.2.1. Fuente de tiempo. El GPS como suministrador de tiempo de muy alta precisión

Los receptores y en general el sistema de posicionamiento por satélite GPS son conocidos por sus capacidades de Navegación, Seguimiento y otras aplicaciones de cartografía, sin embargo el GPS puede ser utilizado también para diseminar tiempos, intervalos de tiempo y frecuencia de manera muy precisa.

El tiempo en si es algo muy valioso y más aun el tiempo preciso. Hay veces en que es muy importante saber que un conjunto de eventos, suceden de acuerdo a lo previsto desde el punto de vista temporal, es decir están sincronizados, y para ello el GPS proporciona una herramienta muy valiosa.

El tiempo que suministran los GPS, puede ser utilizado de tres maneras diferentes, a saber:

- Como tiempo absoluto es una marca universal, que nos permite decir cuando ha pasado o va a pasar alguna cosa
- Como elemento de sincronización para personas y eventos el tiempo nos ayuda a mantener el mundo de acuerdo a una planificación.
- Como sistema para medir la duración de algo, el tiempo es algo que nos da sin ambigüedades la duración de algo.

Los satélites del sistema GPS incorporan relojes atómicos de muy elevada precisión y para que todo el sistema en si funcione, los relojes de nuestros receptores en tierra, deben sincronizarse a si mismos con estos relojes. Esto significa, que cada receptor GPS, es en esencia un reloj con precisión de reloj atómico.

Astrónomos, compañías de distribución energética, redes de ordenadores, sistemas de comunicación y un sinfín de sistemas como los de radio y televisión, se aprovechan del tiempo preciso que suministra el sistema GPS.

Los bancos utilizan el GPS para garantizarse que las transacciones son registradas de manera simultánea en todas sus oficinas en todo el mundo.

Compañías como Pacific Northwest se garantizan también, que el suministro energético se distribuye en el momento adecuado en sus más de 14.000 millas de tendido utilizando el sistema de referencia temporal que suministra el GPS

3.2.1.1 El sistema GPS

El sistema GPS funciona en base a una constelación de 29 (llegaron a 32) satélites NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranking) desarrollados por el departamento de defensa de los Estados Unidos de América. El primer satélite fue lanzado al final de los 80 y están organizados en seis planos orbitales inclinados 55 grados respecto al ecuador y a unos 22.220 Km. de altura y con una duración de la órbita de unas 12 horas.

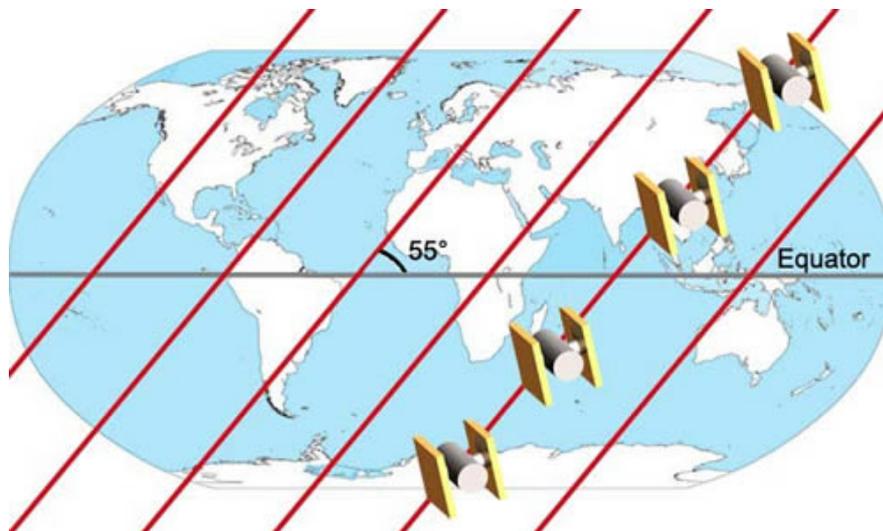


Figura 14: El sistema GPS

CARACTERÍSTICAS DE LOS SATÉLITES GPS

Nombre:	NAVSTAR
Fabricante:	Rockwell International
Altitud:	10,900 nautical miles
Paeso:	1900 lbs (en orbita)
Tamaño:	17 pies con los paneles solares extendidos
Orbita:	12 horas
Plano orbital:	55 grados con el ecuador
Vida:	7.5 años
Constelación actual:	24 Block II satelites
Futuros satélites:	21 Block IIrs desarrollados por Lockheed Martin

3.2.1.2 Funcionamiento básico

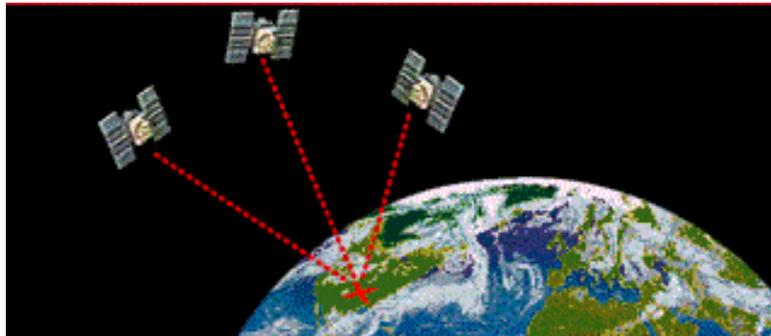


Figura 15: Funcionamiento básico del GPS

En un sistema GPS los receptores determinan su posición por triangulación con tres satélites que son utilizados como punto de referencia para su localización en la Tierra

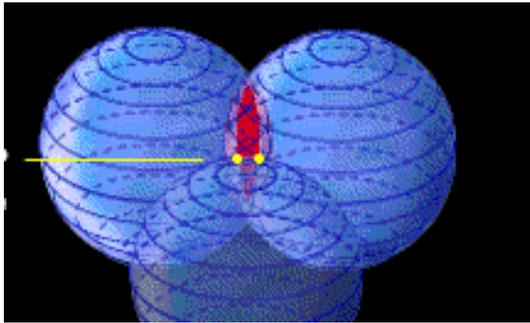


Figura 16: Intersección de las tres esferas de distancia a los satélites

En base a la medición muy precisa de la distancia a cada uno de los tres satélites, se obtienen tres esferas que se cortan en dos puntos, uno de los cuales es nuestra posición y el otro normalmente puede ser descartado por encontrarse muy lejos de la tierra o moviéndose a una velocidad exagerada.

3.2.1.3 Medición de distancias a los satélites.

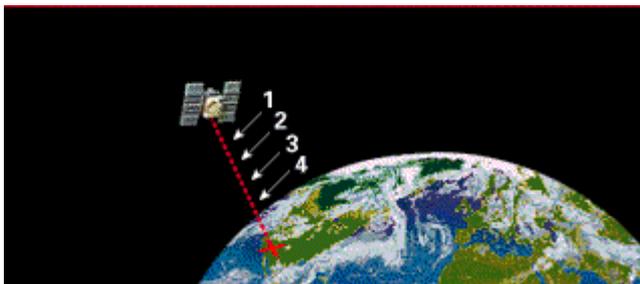


Figura 17: Medición de la distancia a los satélites

Para la medición de la distancia al satélite, se mide el tiempo que tarda en llegar una señal de radio desde cada satélite a nuestro receptor.

Para esto, cada satélite y cada receptor generan lo que se denomina un código pseudo aleatorio (Pseudo Random Code).

Comparando las dos señales, podemos saber el retraso que es el tiempo que tarda la señal en llegar y multiplicando por la velocidad de la luz, tenemos la distancia.

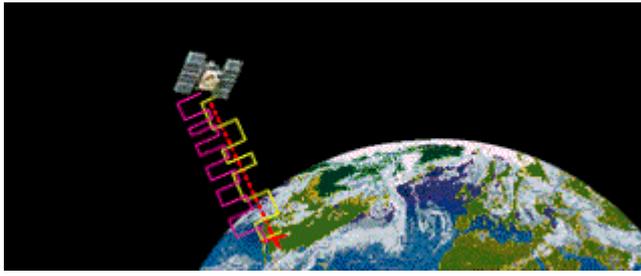


Figura 18': Código pseudo aleatorio

Este ingenioso sistema sólo puede funcionar si la medición se hace con gran precisión y para ello la sincronización de los relojes del receptor y el satélite, deben estar sincronizados.

3.2.1.4 Alineación temporal Satélite Receptor

Para hacer esta Alineación es necesario un cuarto satélite

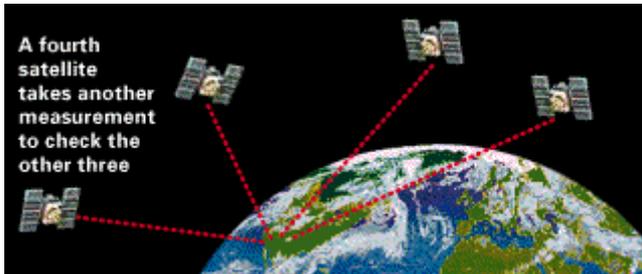


Figura 19: Un cuarto satélite corrige los errores en los otros tres

Con un cuarto satélite el procesador del propio receptor va modificando el desfase de tiempo hasta que las mediciones sean confirmadas en un sistema de ecuaciones y así aplica unos offsets en su reloj que permiten hacer las mediciones perfectas.

Se concluye así que un receptor de GPS se convierte en un reloj con la precisión necesaria, que podremos utilizar como referencia en el trabajo de validación de NTP como protocolo para sincronizar sistemas distribuidos geográficamente y analizar su aplicación futura a sistemas navales complejos.

3.2.2. Descripción del Hardware: GPS Garmin 16 LVS

El GPS seleccionado es el Garmin 16 LVS. Este es un GPS comercial utilizado para sistemas de navegación. Algunas de sus principales características son:

- Capacidad para seguir hasta 12 satélites con un posicionamiento rápido y preciso a la vez que hace uso de un bajo consumo de potencia.
- Capacidad DGPS usando correcciones WAAS en tiempo real o correcciones RTCM dando como resultado una corrección en el posicionamiento de entre tres y cinco metros.
- Compacto, ruggedizado e ideal para aplicaciones con mínimo espacio.
- Señal PPS de alta precisión. El ancho del pulso es configurable, con un ancho mínimo de 20ms y aumentable de 20 en 20ms hasta los 980ms con una precisión de 1 μ s.
- Niveles de voltaje de alimentación muy flexibles desde los 8.0 VDC hasta los 40 VDC.
- Memoria no volátil interna que permite mantener al GPS datos críticos como parámetros de las orbitas de los satélites, última posición conocida, fecha y hora. Esta memoria no volátil no requiere back-up de baterías.
- Programas basados en Memoria FLASH. Puede actualizarse su software a través de descargas de la página Web de Garmin.
- Diseño resistente al agua que permiten su exposición continua a las condiciones climáticas predominantes de cada localización.



Figura 20: GPS 16-LVS de Garmin vista 1



Figura 21: GPS 16-LVS de Garmin vista 2

Las salidas de datos que nos aporta el GPS son las que se explican a continuación

3.2.2.1 Señal NMEA

Bajo el nombre de NMEA 0183 se recoge una especificación tanto eléctrica como de datos para establecer una comunicación entre dispositivos de navegación tales como sónares, echo-sounders, anemómetros, girocompases, pilotos automáticos y por supuesto, receptores de GPS además de otros muchos tipos de instrumentos. Esta especificación ha sido definida y está controlada por la *Nacional Marine Electronics Association* de los EEUU;

El estándar NMEA 0183 usa un protocolo de comunicación serie con código ASCII que define como se transmiten los datos en un mensaje o sentencia desde un transmisor hasta varios receptores. El estándar también define el contenido de cada tipo de sentencia.

Normas del protocolo:

- Cada mensaje comienza con un signo del dólar \$
- Los siguientes 5 caracteres identifican el tipo de mensaje
- Todos los datos a continuación están separados por comas
- El primer carácter que sigue inmediatamente al ultimo campo de datos es un asterisco
- El asterisco es seguido inmediatamente por un número de dos dígitos en hexadecimal que es un checksum de todos los campos de la sentencia. Se calcula como un OR Exclusivo de todos los datos desde el signo "\$ " hasta el "*" .Este campo es opcional para la mayoría de las sentencias pero es obligatorio por ejemplo para GPRMC entre otros
- <CR><LF> es el final del mensaje

Para nuestros objetivos, nos basta con dos tipos de mensajes o sentencias: GPRMC y GPGLL. En las especificaciones que suministra Garmin para el GPS se proporciona la siguiente descripción de cada una de las señales.

Cada uno de los campos está referenciado como <número>, en la tabla que hay a continuación de cada sentencia se describe el significado del campo correspondiente.

GGA: Global positioning fix data. Nos da la localización 3D y la precisión de los datos.

\$GPGLL,<1>,<2>,<3>,<4>,<5>,<6>,<7>,<8>,<9>,M,<10>,M,<11>*hh<CR><LF>

<1>	Hora UTC del fijo en formato hhmmss
<2>	Latitud, en formato ggmm.mmmm
<3>	Hemisferio N o S
<4>	Longitud, en formato ggmm.mmmm
<5>	Hemisferio E o W
<6>	Indicador de la calidad del GPS, 0 = fijo no disponible, 1 = fijo GPS no diferencial disponible, 2 = fijo GPS diferencial (DGPS) disponible, 6 = Estimado
<7>	Número de satélites en uso: desde 00 hasta 12
<8>	Resolución de la precisión horizontal desde 0.5 hasta 99.9

<9>	Altura de la antena por encima/debajo del nivel medio del mar entre -9999.9 y 99999.9 metros
<10>	Altitud en metros sobre el nivel del mar desde -999.9 hasta 9999.9 metros
<11>	Edad de los datos de GPS diferencial, número de segundos desde la última transmisión RTCM válida (nulo si no hay un fijo DGPS)
<12>	Identificador de la estación de referencia diferencial, de 0000 a 1023

RMC: Recommended Minimum Specific GPS/TRANSIT Data (RMC). NMEA tiene su propia versión de los datos GPS pvt (posición, velocidad, tiempo) .Se llama RMC,

\$GPRMC,<1>,<2>,<3>,<4>,<5>,<6>,<7>,<8>,<9>,<10>,<11>,<12>*hh<CR><LF>

<1>	Hora UTC del fijo en formato hhmmss
<2>	Estado, A = Posición válida, V = alerta del receptor NAV
<3>	Latitud, en formato ggmm.mmmm
<4>	Hemisferio N o S
<5>	Longitud, en formato ggmm.mmmm
<6>	Hemisferio E o W
<7>	Velocidad sobre fondo de 000.0 a 999.9 nudos
<8>	Rumbo sobre fondo, de 000.0 a 359.9 grados, true
<9>	Fecha UTC del fijo, formato ddmmaa
<10>	Variación magnética de 000.0 a 180.0 grados
<11>	Dirección de la variación magnética E o W
<12>	Indicador de modo (solo si esta activada la versión 2.30de NMEA 0183), A = Autónomo, D = Diferencial, E = Estimado, N = Dato no válido

3.2.2.2 Señal PPS

Sus siglas vienen de Pulse Per Second. (No confundir con PPS, siglas de Precise Positioning Service (Servicio de Posicionamiento Preciso). Este código PPS permite obtener precisiones superiores a los 20 m; este código es accesible sólo a los militares de Estados Unidos y sus aliados, salvo en situaciones especiales).

Nuestra señal PPS es una señal de gran precisión que se utiliza para tareas que precisan medidas de tiempo muy precisas. Esta señal se genera una vez que la posición inicial ha sido calculada y a partir de ahí continua hasta que se desactiva el GPS. Es un pulso rectangular cuyo flanco de subida esta sincronizado con cada inicio de segundo del GPS. Da igual la tasa de transmisión que se este empleando para comunicarse con el GPS, esta señal se transmite cada segundo, precediendo a la señal NMEA. Esta señal, por sí sola, es insuficiente para dar una referencia de tiempo completa, ya que sólo indica el inicio de un nuevo segundo. Así pues debe combinarse con otra fuente de tiempo (en este caso la señal NMEA o los datos que nos envía otro servido NTP) para tener una referencia de tiempo completa.

La señal PPS puede usarse para disciplinar el reloj del sistema, para lograr un mayor grado de precisión, aproximadamente una precisión de 10 μ s. En el caso del Garmin la duración por defecto del pulso es de 100ms, pero se ha configurado para que tenga una duración de 200ms para que pueda ser procesada por ntpd.

La salida PPS de nuestro GPS puede conectarse de dos maneras: a través del pin DCD (Data Carrier Detector) de un puerto serie o a través del pin ACK de un puerto paralelo. En este caso se ha escogido la segunda opción por ser la que mejor se ajustaba a nuestros Hardware y Software.

3.2.2.3 Conexión del GPS al puerto serie

El Garmin 16-LVS trae de fábrica un conector RJ-45.

El PC sobre el que se trabajaba disponía de una entrada serie RS-232.

De las especificaciones del Garmin se dedujo la siguiente tabla de asignación de pines, con la que se construyó el hardware que se describe en el apartado 3.2.4.1 y cuyo esquema se muestra a continuación.

Garmin 16-LVS		RJ-45	FUNCIÓN	RS-232 (Hembra*)
1	Rojo	Azul	Power In, 6.0 to 40 volts DC	+ (6 a 40)
2	Negro	Naranja	Power Ground	-
3	Amarillo	Negro	Remote Power on/off switch, ground for on, float for off	5
4	Azul	Rojo	Port 1 Data in, RS232 or TTL levels OK	2
5	Blanco	Verde	Port 2 Data out, RS232 Levels OK	3
6	Gris	Amarillo	PPS	1
7	Verde	Marrón	N/A	
8	Violeta	Blanco	N/A	

*Para la conexión con el macho se intercambian los pines 2 y 3 entre sí.

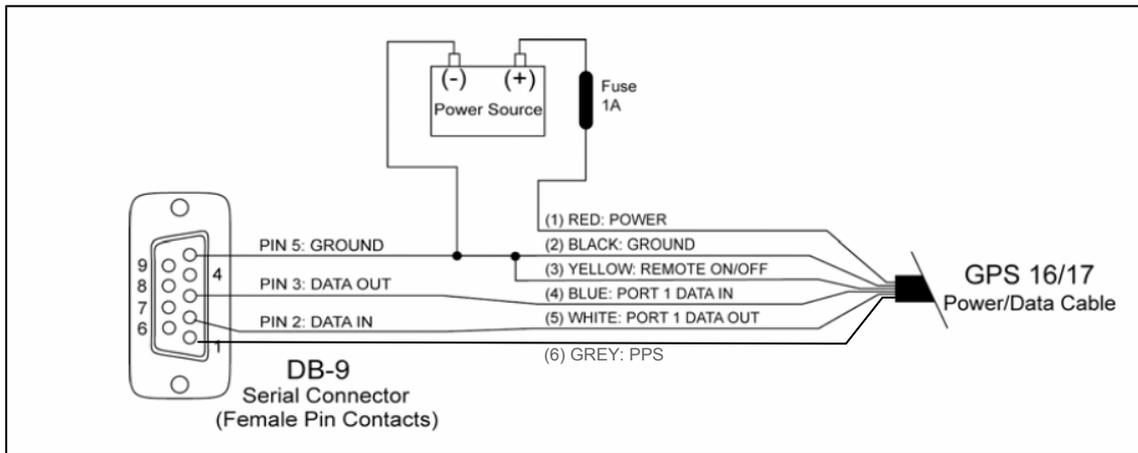


Figura 22: Conexión del GPS a un RS-232

3.2.3. Descripción del software

3.2.3.1 SNSRCFG: Programa de Garmin para la configuración del GPS

Garmin proporciona un software para Windows llamado SNSRCFG que permite cargar la configuración al GPS o comprobar los parámetros que contiene. También permite almacenar en archivos estas distintas configuraciones en caso de que queramos recuperar una configuración antigua o llevar al GPS a su estado inicial. Para utilizarlo basta con conectar el GPS al PC a través del puerto serie y pichar en el archivo ejecutable.

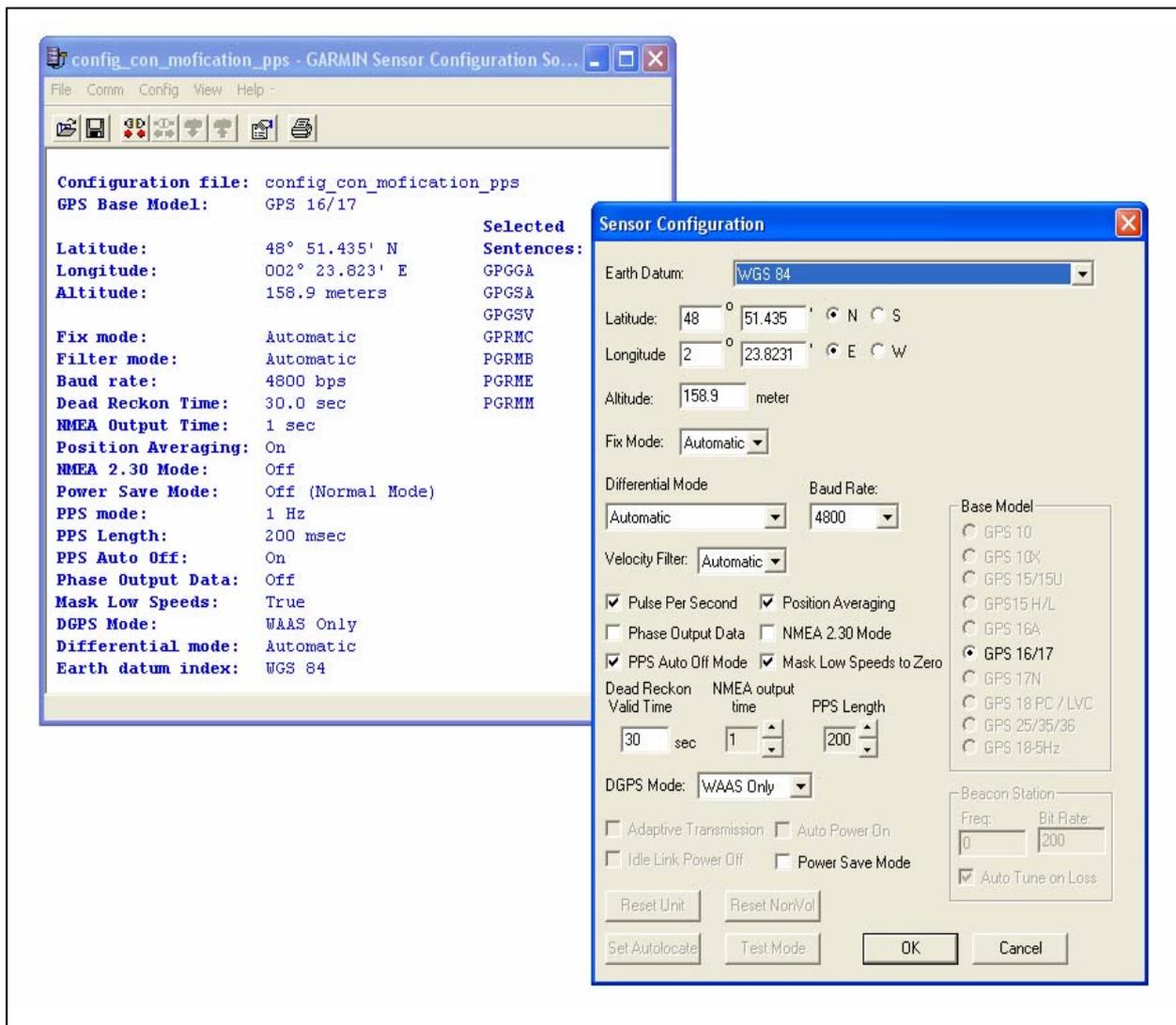


Figura 23: Programa para configuración de GPS de Garmin

3.2.3.2 Drivers

Shmpps

Este nombre viene de Shared Memory PPS. Para su funcionamiento, requiere un daemon.

Su configuración es extremadamente sencilla gracias a que simplemente es necesario instalar el daemon y crear un script de arranque con las opciones adecuadas.

En NTP, este driver recibe la información del reloj a través de un segmento de memoria compartida. Este segmento se crea con permisos de acceso solo para el equipo propietario en las unidades 0 y 1. El resto del mundo sólo tendrá acceso a los segmentos 2 y 3 (ver Anexo I)

En este caso, si no se incluyen más drivers, sólo se obtiene del GPS la señal PPS y el sistema deberá funcionar con un peer preferido que será quien le indique la fecha y la hora actuales a través de la red, ya que la señal PPS solo indica el paso de segundos.

Linuxpps

En este caso se trata de un driver que no requiere la ejecución continua de un driver. Además este driver es capaz de combinar las señales PPS y NMEA dando una hora UTC con la misma precisión que aporta una señal PPS.

La gran desventaja de este método es que es bastante mas complicado de instalar, ya que requiere un patch específico para cada tipo de kernel que además no es admitido por todo tipo de kernels. Por ejemplo, en mi caso tuve que descargar un kernel 2.6.22 de la página web de kernels.org para que admitiera el patch.

Además, instalar un patch requiere recompilar el kernel, que no es algo trivial ya que hay que buscar el archivo .config apropiado etc.

3.2.3.3 Minicom/ Hyperterminal

Minicom es un hyperterminal para Linux. Estos dos programas me han sido de gran utilidad ya que me permitían ver fácilmente la salida NMEA que generaba el Garmin, y así

saber si estaba funcionando correctamente la conexión entre el PC y el GPS, si el GPS veía el número adecuado de satélites (al menos cuatro) si el pulso PPS estaba activado, su duración etc.

3.2.4 Configuración del servidor

Para configurar el servidor lo único que habría que añadir al un fichero de configuración igual al que se describe al final del capítulo 2 es que hay que añadir como servidor un reloj local.

NTP admite muchos tipos diferentes de relojes locales: radio relojes, GPS en diversas modalidades (SHMPPS, NMEA, LinuxPPS...), también tiene drivers para GPS concretos etc.

A la hora de indicarle a ntpd que debe usar como servidor un reloj local, lo haremos mediante la palabra clave Server y una dirección IP como sigue

127.127.X.Y

127.127 = Indica que es un reloj local

X = Este número indica la clase de reloj local. 28 para shmpps, 22 para PPS y 20 para GPS time (PPS más NMEA)

Y= NTP admite hasta cuatro relojes locales del mismo tipo. Este campo es un número del cero al tres que diferencia a uno de otro

3.2.4.1. Detalles de conexión y configuración

Para la conexión se empleó un adaptador RJ-45 a RS-232 como el que se muestra en la figura:

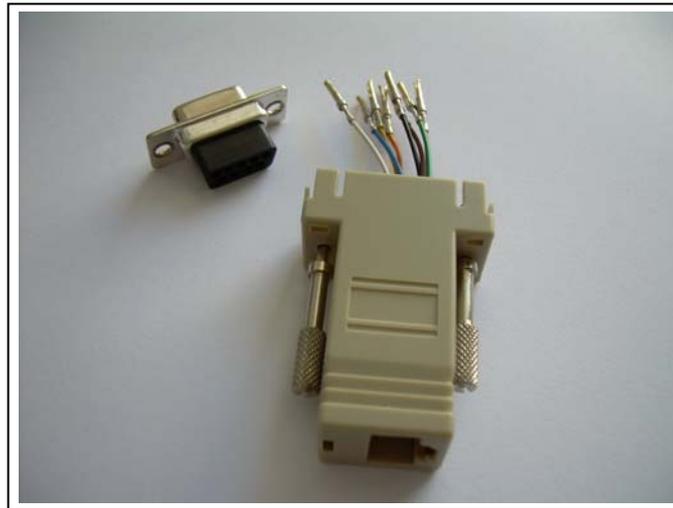


Figura 24: Conversor RJ-45 a RS-232

Siguiendo el esquema descrito anteriormente (ver apartado 3.2.2.3) se hicieron las conexiones adecuadas a un RS-232 macho y a alimentación.

Para La alimentación se empleó un transformador de 230 AC a 12V y 1000mA que se muestra en la siguiente figura:



Figura 25: Transformador empleado para la alimentación del GPS

En la siguiente figura vemos el resultado final:



Figura 26: Conexión del GPS al transformador

El PC empleado fue un Samsung Q20 , las principales características técnicas se detallan a continuación:

Capacidad del Disco Duro	: 60000 MB
Velocidad del procesador: 1200 MHz	
Memoria RAM:	512 MB
Procesador Intel:	Pentium M
Tecnología Intel Centrino	

Una vez realizado este montaje, es preciso comprobar que las conexiones son correctas etc

Para la comprobación de la salida NMEA abrimos un shell y ejecutamos minicom, descrito en el apartado de software. La salida NMEA ha de consistir en una sucesión de sentencias muy parecidas a la que se muestra a continuación que se refrescan cada segundo.

```
$GPRMC,022708,A,3303.6672,N,09640.3395,W,000.0,266.2,090406,004.8,E*6D
$GPGLL,022708,3303.6672,N,09640.3395,W,1.04,2.1,214.0,M,-24.9,M,,*72
$GPGSA,A,3,01,,,,,16,20,23,,,,,5.1,2.1,2.0*32
$GPGSV,3,1,11,01,54,060,40,06,02,065,00,07,07,114,00,11,11,241,00*7D
$GPGSV,3,2,11,14,20,094,00,16,51,155,36,20,51,303,43,23,25,306,39*7D
$GPGSV,3,3,11,24,08,310,00,25,58,027,00,37,00,000,00*4E
$PGRME,6.7,M,17.3,M,19.5,M*27
$GPGLL,3303.6672,N,09640.3395,W,022708,A*36
$GPVTG,266,T,261,M,000.0,N,0000.0,K*79
$PGRMV,0.0,0.0,0.0*5C
$PGRMF,346,8842,090406,022708,14,3300.6672,N,09643.3395,W,A,2,0,266,5,
3*0B
$PGRMB,,,,,K,,,*2D
$PGRMM,WGS 84*06
```

Una vez que sabemos que nuestro sistema se comunica correctamente con el PC, basta con dar la configuración apropiada al GPS (PPS activado longitud de unos 200ms)

Tras eso simplemente hay que instalar un patch para Linux PPS adecuado a nuestro tipo de kernel, aunque es probable, que como en mi caso, haya que bajar un nuevo kernel de la página kernel.org y recompilarlo.

Ya sólo queda dar las opciones adecuadas a ntpd mediante el archivo de configuración (asignar la dirección 12.127.20.0 a nuestro GPS)

Capítulo 4: Estadísticas

4.1. Descripción de los ficheros de estadísticas que nos da ntpd

El demonio ntpd incluye una exhaustiva facilidad para monitorización muy apropiada para almacenamiento de datos continuo y a largo plazo de los datos de un servidor o un cliente. Estos datos se almacenan en una serie de ficheros que se gestionan mediante una de scripts de generación de archivos que viene almacenados en el directorio/scripts de esta distribución y también usan la herramienta Unix cron. Así los datos son automáticamente organizados y almacenados para su posterior estudio.

clockstats :

Habilita la recogida de datos estadísticos de los drivers de los relojes locales que se hayan especificado en el fichero de configuración.

Cada actualización recibida añade un línea al archivo de estadísticas con el siguiente formato:

```
49213 525.624 127.127.4.1 93 226 00:08:29.606 D
```

- Los dos primeros campos muestran la fecha (modified Julian Day) y la hora (segundos y fracciones de Segundo pasada la media noche UTC)
- El siguiente campo muestra la dirección del reloj. El ultimo campo muestra la ultima marca de tiempo recibida en formato ASCII

peerstats

Habilita el almacenamiento de datos estadísticos de los pares. Esto incluye el almacenamiento de datos de todos los pares de un servidor NTP y de señales especiales en el caso de que se presenten y estén configuradas. Cada actualización valida añade una línea al archivo de estadísticas parecida a la siguiente:

```
48773 10847.650 127.127.4.1 9714 -0.001605376 0.000000000 0.001424877  
0.000958674
```

- Los dos primeros campos muestran la fecha (modified Julian Day) y la hora (segundos y fracciones de Segundo pasada la media noche UTC)

- El siguiente campo muestra la dirección del peer y el siguiente su status. El campo de status esta codificado en hexadecimal siguiendo el formato descrito en el apéndice B de la especificación RFC-1305;
- Los cuatros últimos campos son el offset, el retardo, la dispersión y el ruido RMS, todos ellos en segundos.

sysstats

Habilita el almacenamiento de estadísticas de los contadores de ntpd de forma periódica. Cada hora una línea con el siguiente formato se añade al fichero de estadísticas:

```
50928 2132.543 36000 81965 0 9546 56 71793 512 540 10 147
```

- Los dos primeros campos muestran la fecha (modified Julian Day) y la hora (segundos y fracciones de Segundo pasada la media noche UTC)
- Los diez campos restantes muestran las estadísticas de los contadores acumulados desde que se genero la ultima línea anterior:
- Para los valores del ejemplo tendremos:
- Tiempo desde el último reinicio: 36000. Es el Tiempo en horas desde que el sistema fue rebotado
- Paquetes recibidos: 81965. Es el número total de paquetes recibidos.
- Paquetes procesados: 0. Número de paquetes recibidos como respuesta a paquetes previos enviados.
- Versión actual 9546. Número de paquetes que tienen la misma versión de NTP que nuestra máquina.
- Versión anterior: 56. Número de paquetes que tienen la versión anterior a la nuestra.
- Bad version: 71793. Número de paquetes que no encajan con ninguna de las dos versiones anteriores.
- Acceso denegado: 512. Número de paquetes a los que se les ha negado el acceso por alguna razón.
- Longitud o formato erróneos: 540 Número de paquetes con longitud invalida o formato incorrecto.
- Autenticación negativa: 10. Número de paquetes que no han sido verificados como auténticos.
- Exceso de tasa: 147 numero de paquetes rechazados debido a limitaciones para poder procesar todos los paquetes entrantes.

Loopstats

Habilita el almacenamiento de estadísticas de la información de los filtros del bucle. Cada actualización del reloj local generara una nueva línea de la siguiente forma en el fichero de estadísticas.

```
50935 75440.031 0.000006019 13.778190 0.000351733 0.0133806 6
```

- Los dos primeros campos muestran la fecha (modified Julian Day) y la hora (segundos y fracciones de Segundo pasada la media noche UTC)
- Los siguientes cinco campos muestran el offset de tiempo (en segundos), el offset de frecuencia (en partes por millón - PPM), el ruidos RMS (segundos), la desviación Allan (PPM) y la constante de disciplina del reloj.

4.2. Estadísticas recogidas

4.2.1. Estadísticas Para Stratum 1

Esta estadística se realizó a partir de los datos recogidos a través del servidor configurado con el GPS de Garmin. Por tanto, es considerado como un servidor de hora del nivel más alto posible, 1.

En ella se ve que el offset tiene una media que esta por debajo de los $0.05\mu\text{s}$, ya que entre la fuente de tiempo y el cliente no hay ninguna red que introduzca retrasos. El GPS se considera como un reloj local del sistema.

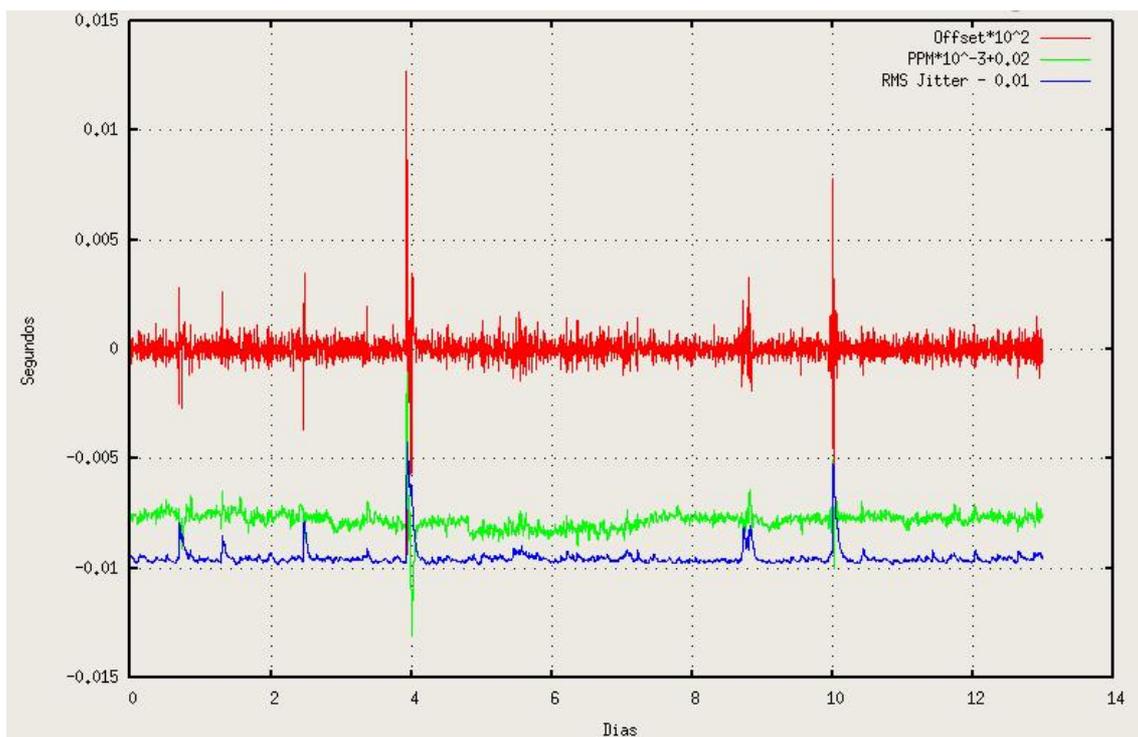


Figura 27: Stratum 1 Offset respecto al reloj local, corrección de frecuencia en PPM y Jitter

4.2.2. Estadísticas Para Stratum 2

Esta estadística se realizó mediante un equipo de catiz conectado a través de la red local a un servidor de hora NTP de ELPROMA modelo NTS-3000 (ver Anexo III)

En este el offset aumenta de forma muy considerable respecto al caso en que teníamos antes, aun así seguimos teniendo un valor del orden de μs más que suficiente para cualquier sistema.

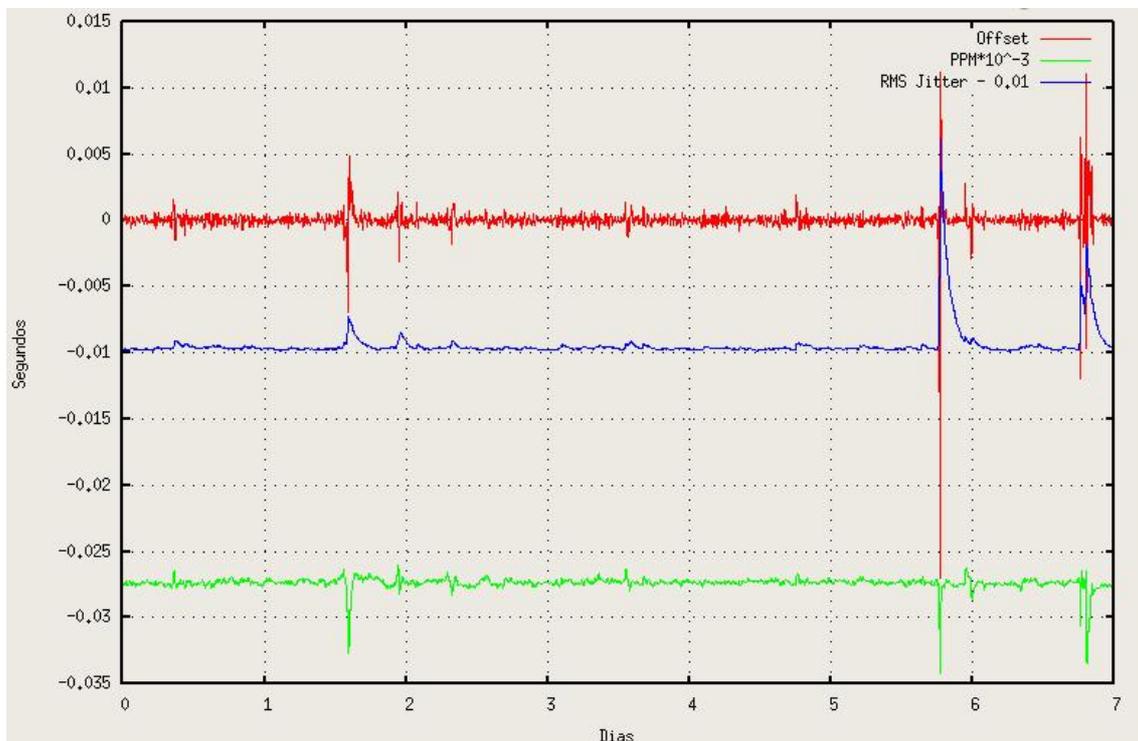


Figura 28: Stratum 2 Offset respecto al servidor, corrección de frecuencia en PPM y Jitter

En la gráfica a continuación, vemos como el retardo de red y el offset están muy relacionados:

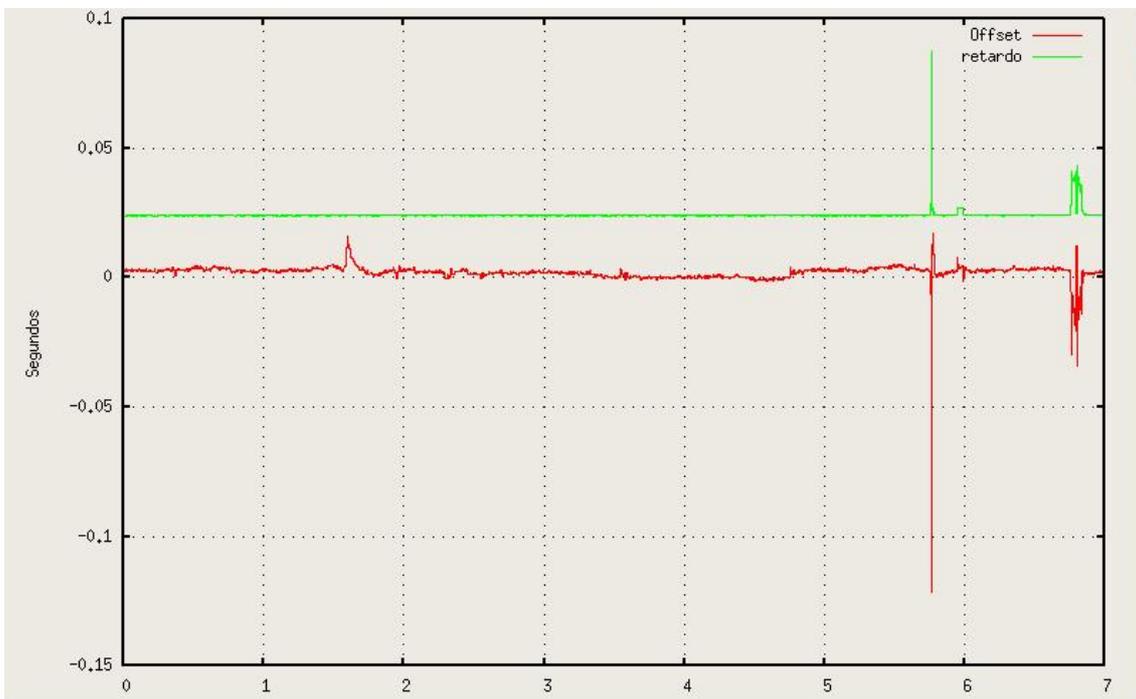


Figura 29: Stratum 2 retardo de red estimado y Offset respecto al servidor

4.2.3. Estadísticas Para Stratum 2 Con Un Par

Esta estadística se realizó mediante un equipo de catiz conectado a través de la red local a un servidor de hora NTP de ELPROMA modelo NTS-3000 (ver Anexo III) al que se le añadió en su fichero de configuración como par un equipo igual a él.

Los equipos pares se añaden en el archivo de configuración con la palabra clave peer y sirven como Backup para nuestros datos en caso de que haya un retardo de red estimado muy elevado con nuestro servidor o éste haya caído.

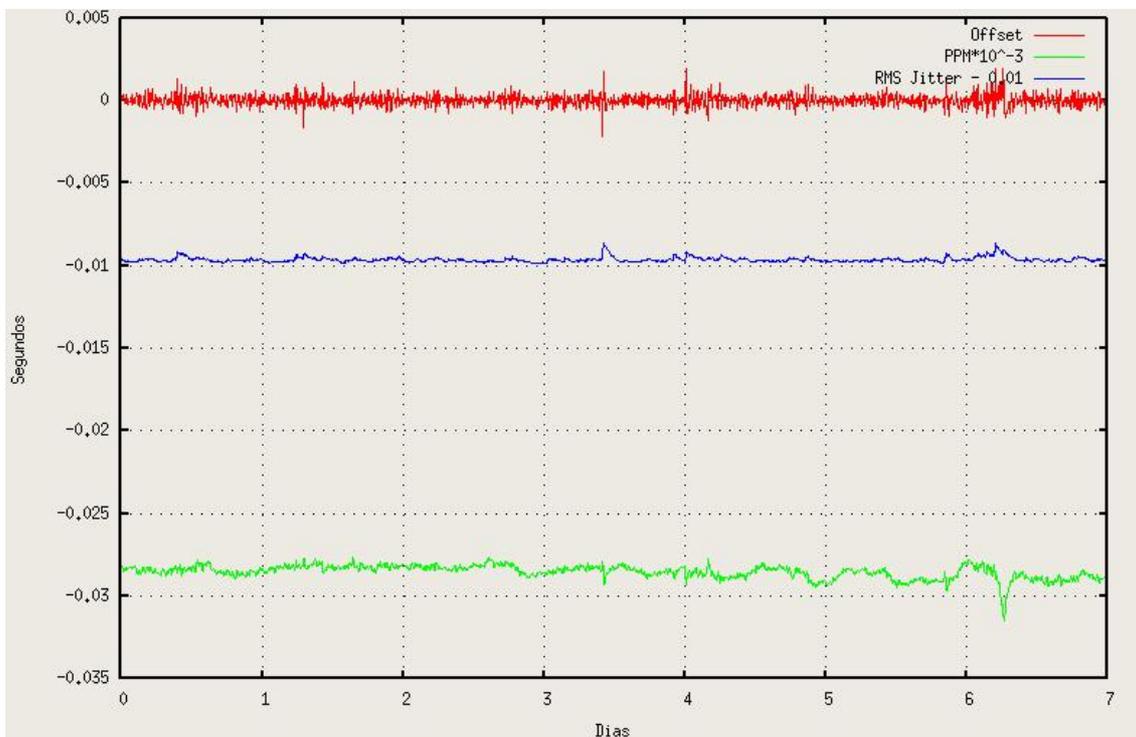


Figura 30:Stratum 2 con en modo par. Offset respecto al servidor, corrección de frecuencia en PPM y Jitter

En esta gráfica el offset que se representa es respecto al par. Vemos que no hay ninguna correlación con el retardo de la red, ya el cliente no se sincroniza con él, simplemente recogemos sus datos por si en algún momento fallara nuestro servidor

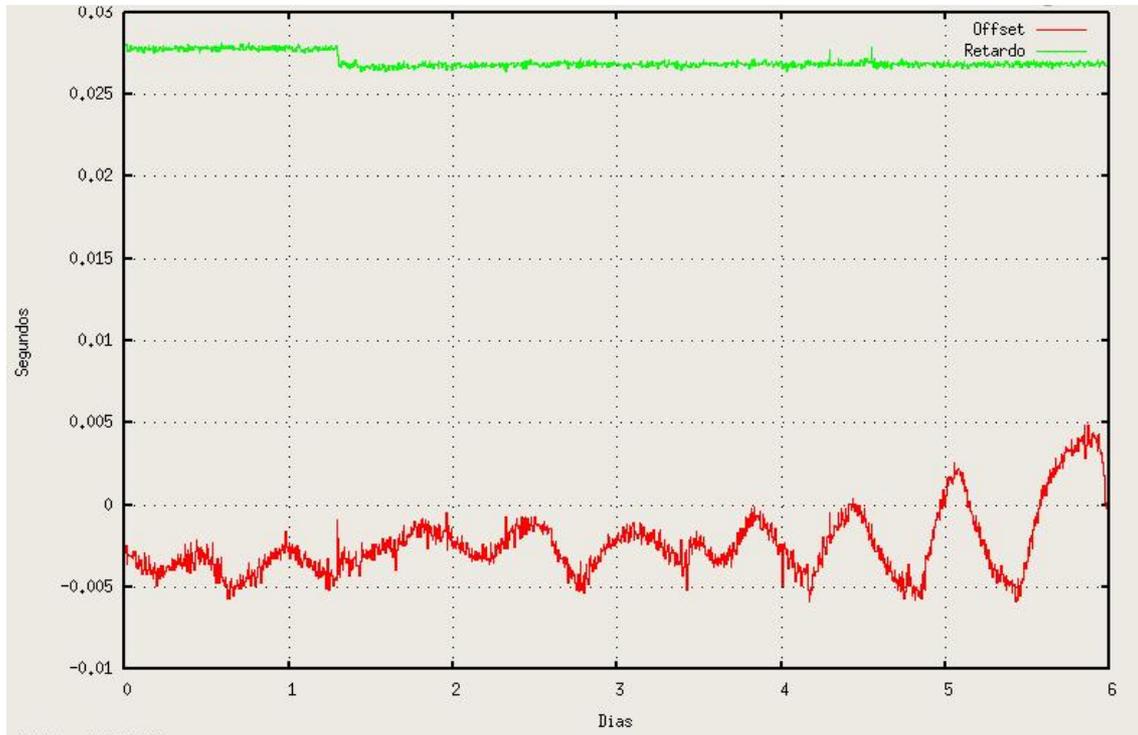


Figura 31: Stratum 2 en modo par. Retardo de red estimado y Offset respecto al servidor

4.2.4. Estadísticas Para Stratum 2 Con Sondeos Forzados

Las tres estadísticas siguientes se obtuvieron con configuraciones en las que se forzaba un intervalo de tiempo máximo o mínimo entre los sondeos realizados. Esto es, peticiones de hora al servidor. Normalmente, NTP tiene algoritmos que regulan esto de forma que cuando se considera que hay un buen nivel de sincronización se aumenta el intervalo entre sondeos y cuando hay problemas para recibir datos, o los valores de offset son muy elevados, este intervalo entre petición y petición disminuye.

- **MÁXIMO 16**

En este caso se fuerza al cliente a realizar sus peticiones en un intervalo de tiempo no mayor de 16 segundos

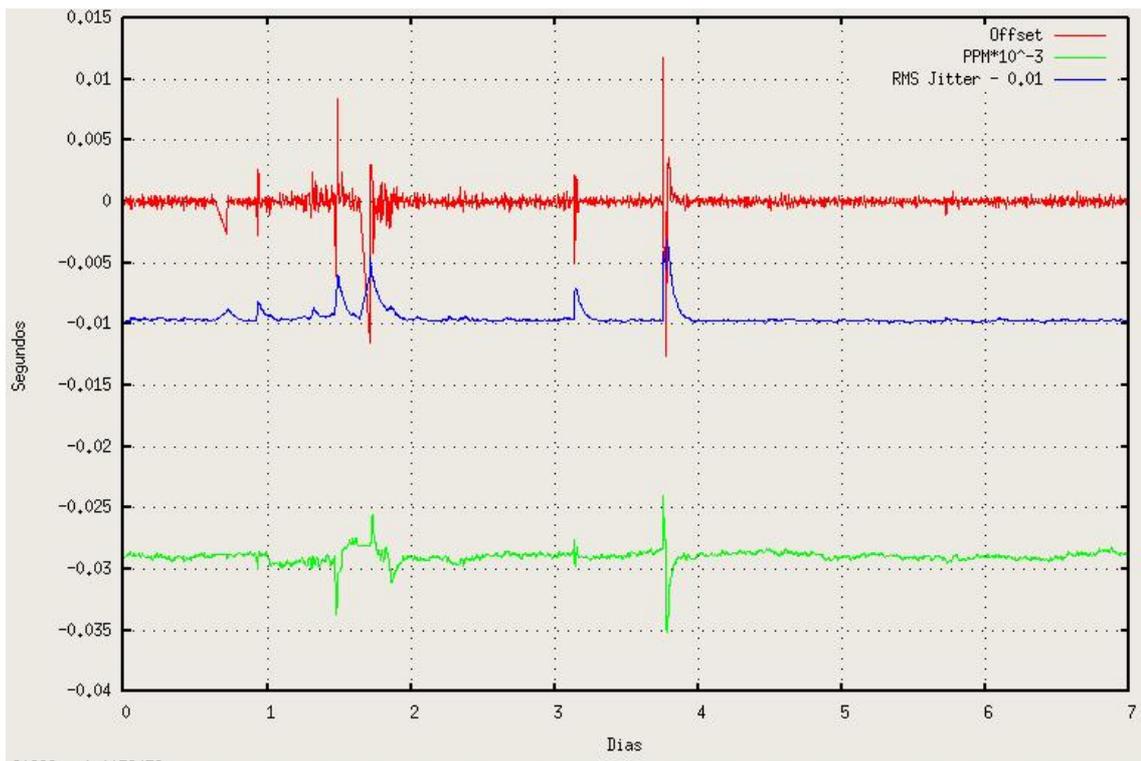


Figura 32: Stratum 2 sondeo máximo de 16s forzado. Offset respecto al servidor, corrección de frecuencia en PPM y Jitter

- **MÁXIMO 32**

Se fuerza al cliente a realizar sus peticiones en un intervalo de tiempo no mayor de 32 segundos

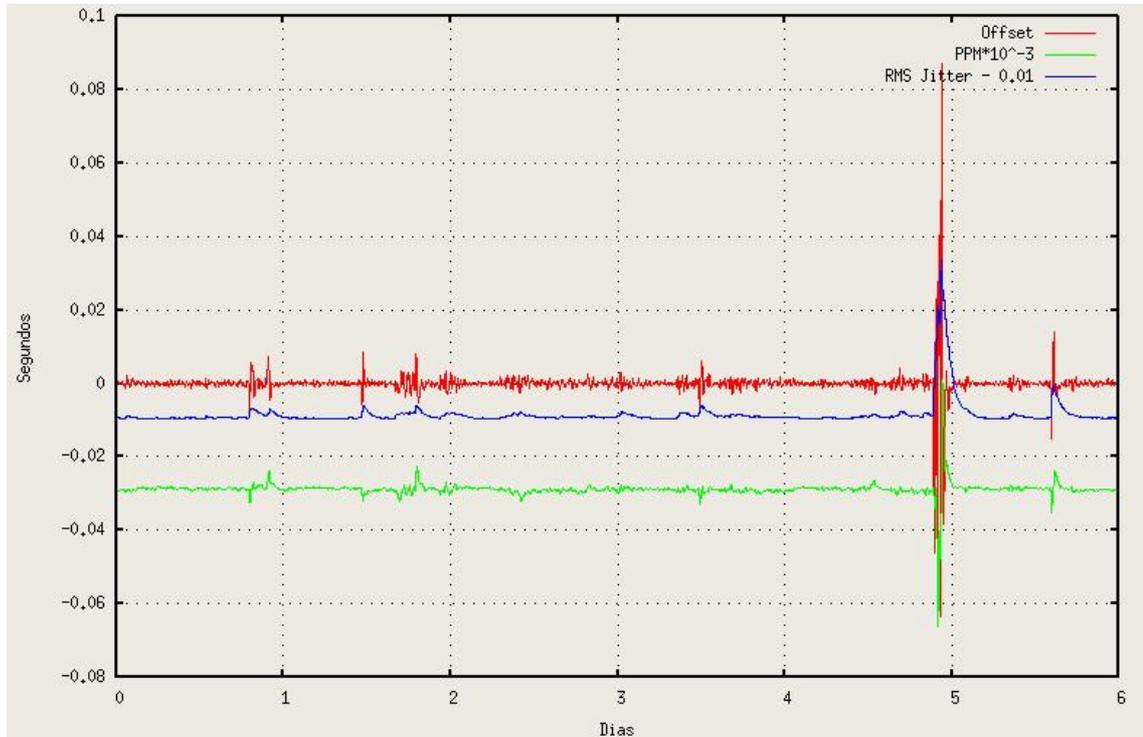


Figura 33: Stratum 2 sondeo máximo de 32s forzado. Offset respecto al servidor, corrección de frecuencia en PPM y Jitter

- **MÍNIMO 64**

Se fuerza al cliente a realizar sus peticiones en un intervalo de tiempo no menor de 64 segundos. Eso si, una vez que el equipo ya estaba sincronizado con el servidor, ya que de otra manera habría resultado imposible.

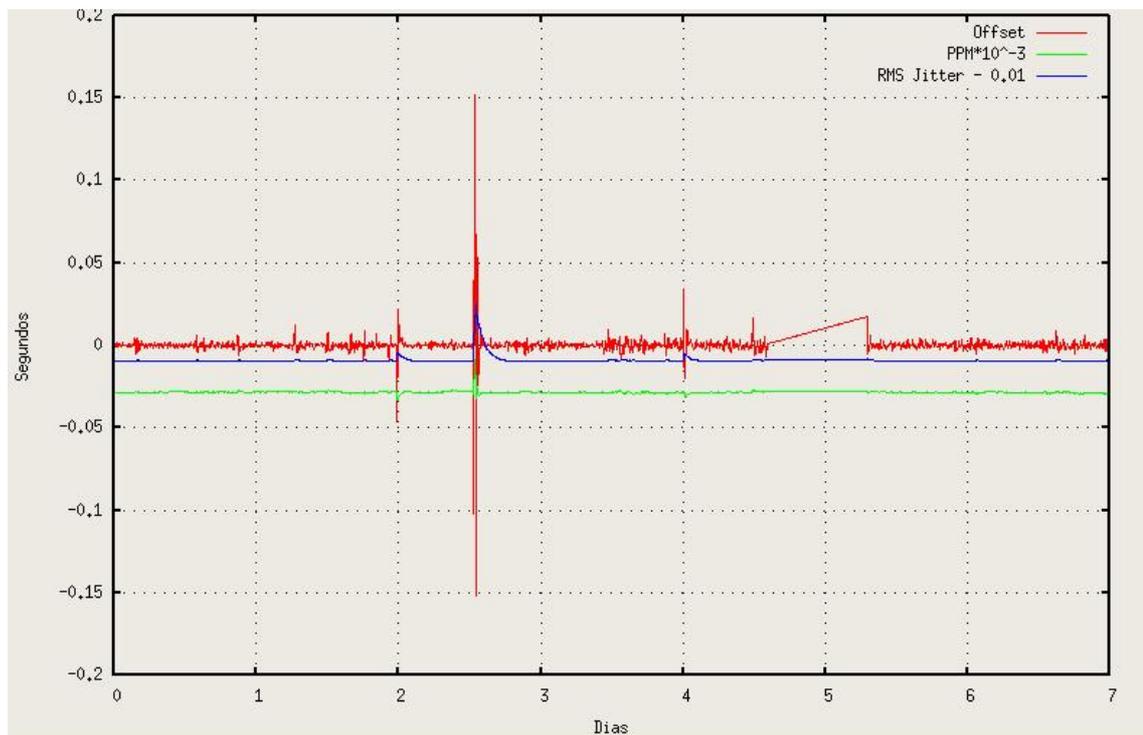


Figura 34: Stratum 2 sondeo mínimo de 64s forzado Offset respecto al servidor, corrección de frecuencia en PPM y Jitter

4.2.5. Estadísticas Para Stratum 2 Con Sobrecarga De La Red

En este caso el experimento tuvo que hacerse sobre Internet ya que no era posible estar colapsando la red del catiz por un día prácticamente.

Para sobrecargar la red lo único que se hizo fue activar un programa de descargas P2P

Por eso, aunque se eligieron servidores de stratum 1, había que poner varios ya que estos servidores a menudo rechazan las peticiones de los clientes y además hay que configurarlos de forma dinámica (añadiendo la palabra clave dynamic junto a la dirección del servidor) Esto hace que, cuando el cliente no tiene noticias del servidor, no se sincroniza con él, pero aun así lo mantiene con un offset ficticio. Este es el motivo de que en la gráfica de Offset y retardo de red respecto a un único servidor no veamos el primer periodo de aumento de offset.

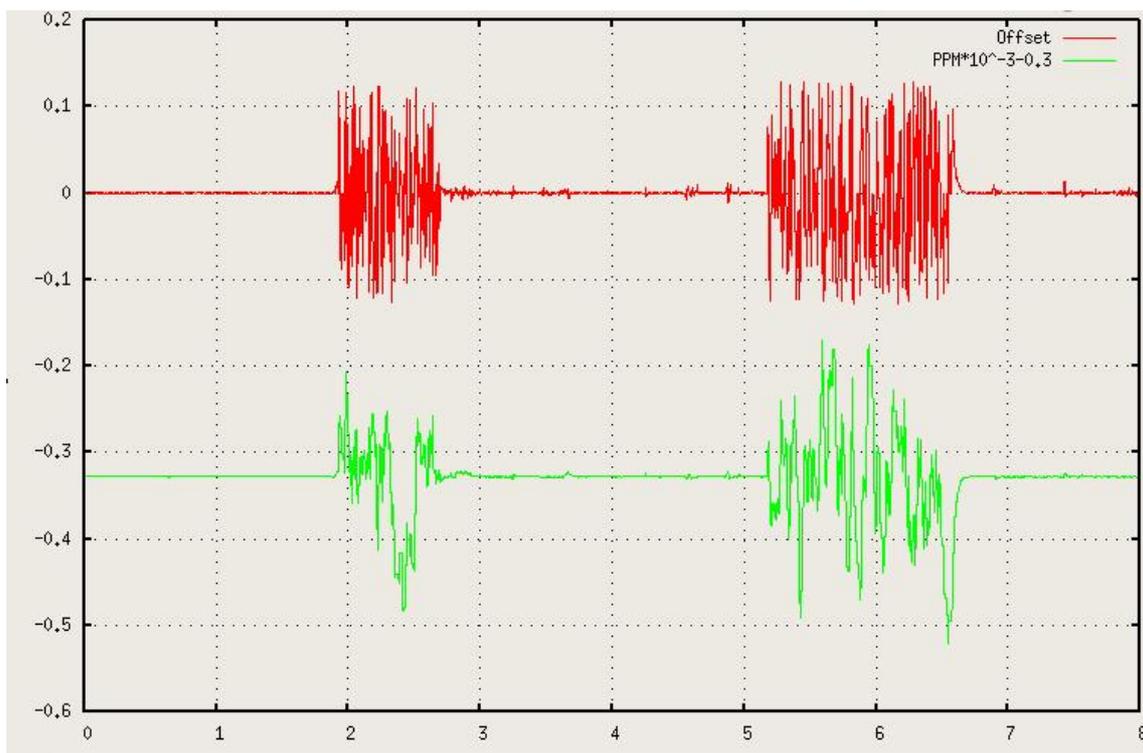


Figura 35: Stratum 2 con sobrecarga de red. Offset y corrección de frecuencia en PPM

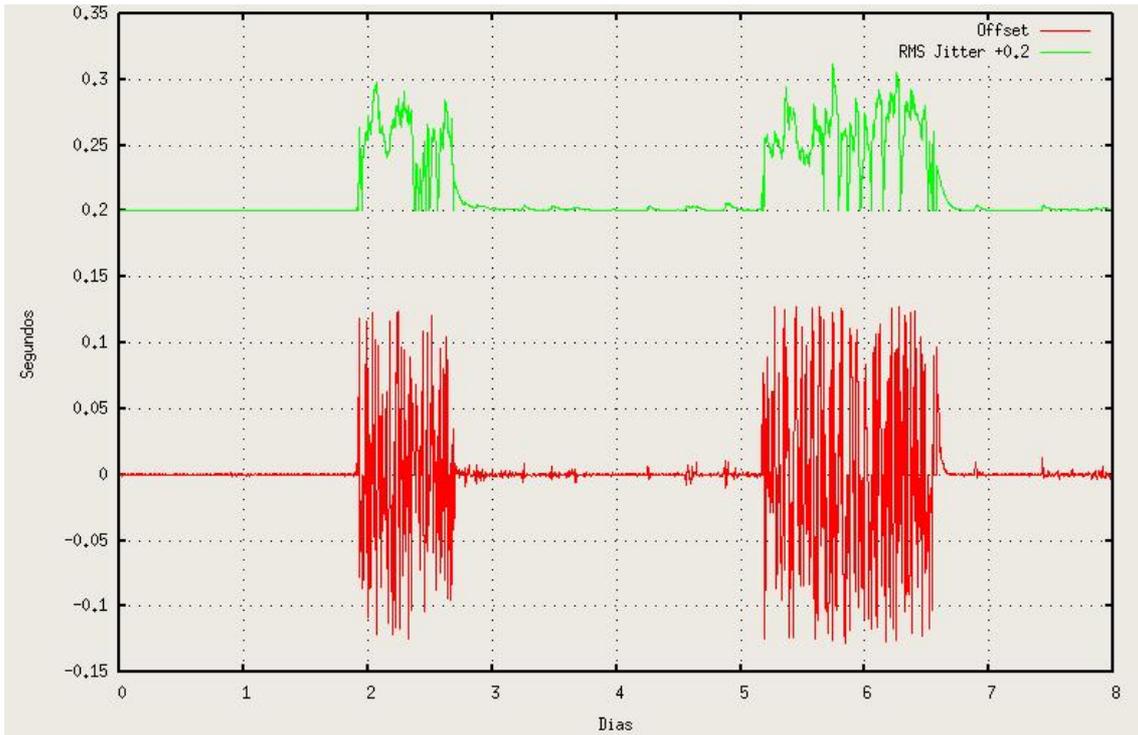


Figura 36:Stratum 2 con sobrecarga de red. Offset y RMS Jitter

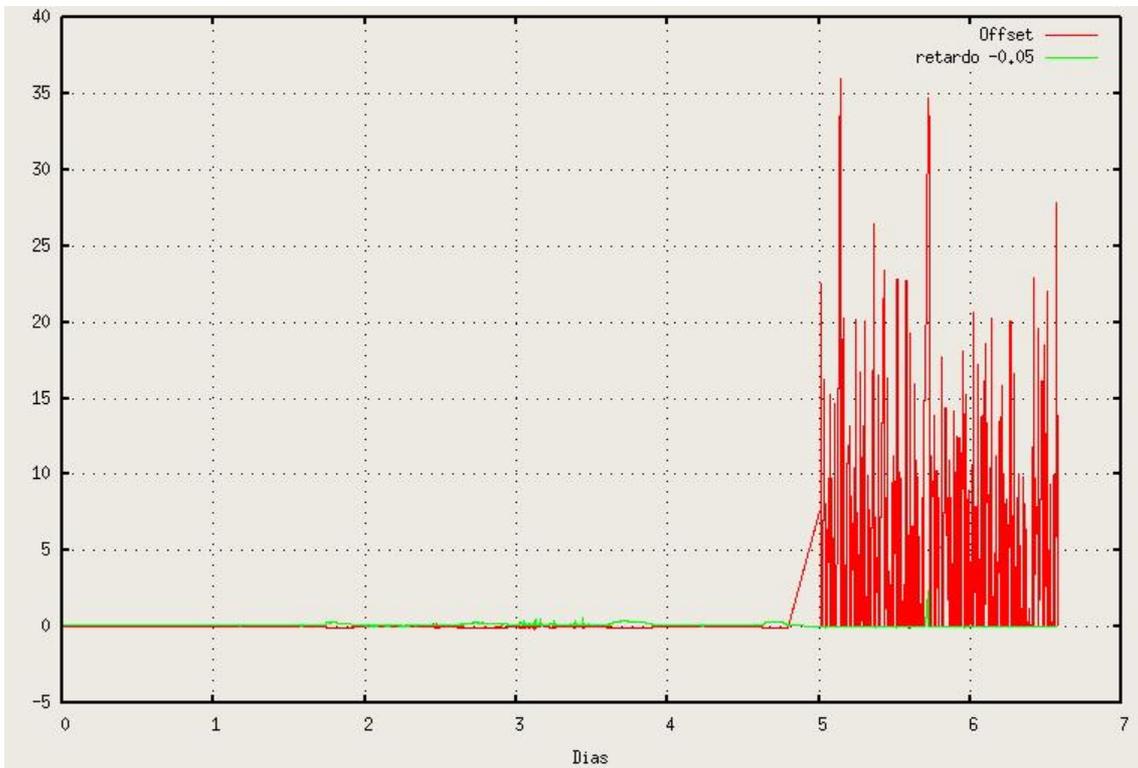
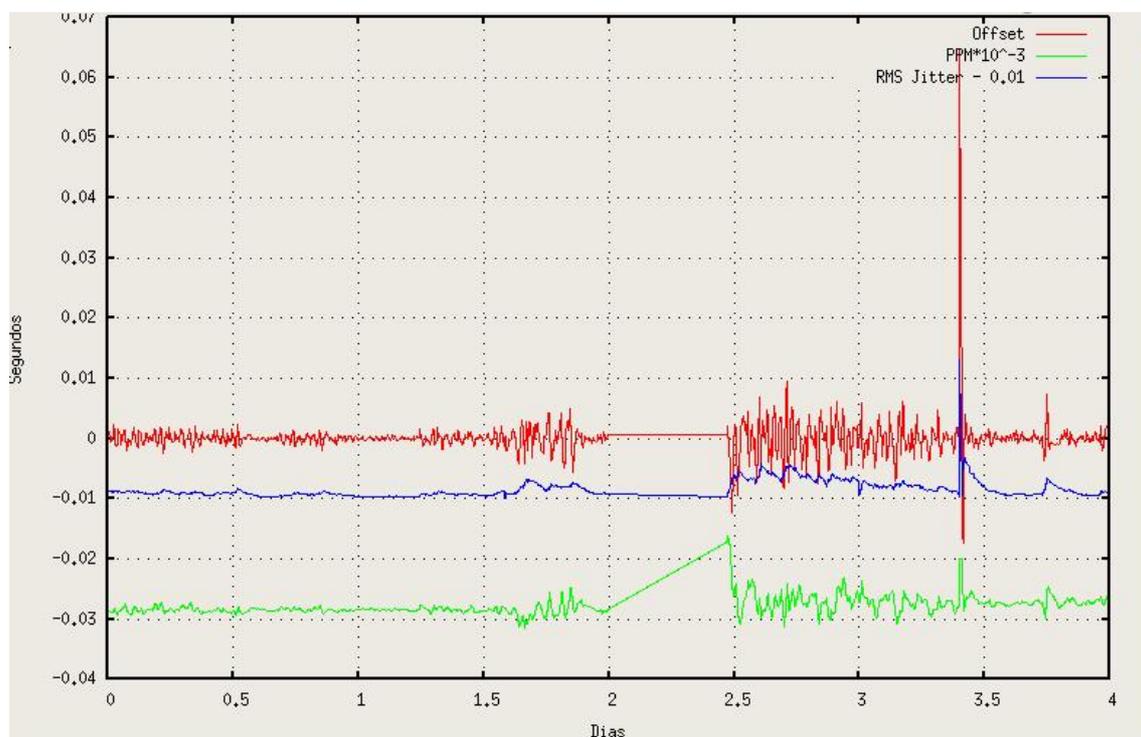


Figura 37: Stratum 2 con sobrecarga de red. Offset y retardo de red estimado

4.2.6. Estadísticas Para Stratum 2 Con Sobrecarga Del Procesador

En este caso, lo que se hizo fue aumenta enormemente la carga de la CPU durante un intervalo de tiempo muy prolongado.

Los resultados de esta prueba fueron totalmente insatisfactorios, ya que NTP perdía totalmente la actividad por un largo periodo de tiempo aumentando bastante la media del offset después de esto



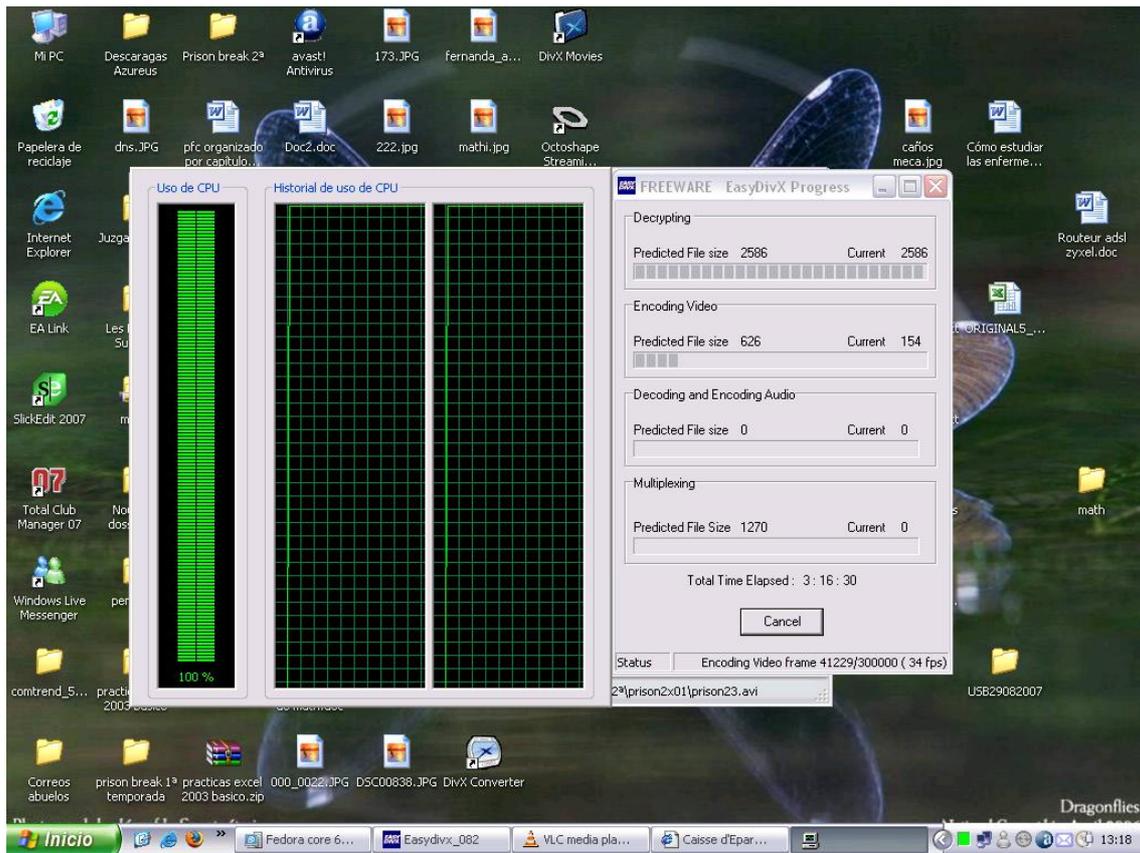


Figura 38: Carga del procesador

4.3. Interpretación de los resultados

4.3.1. Comparación de stratum 1 y stratum 2

El aumento del offset es enorme, pero se debe a que, lógicamente el stratum 1 no sufre ningún retardo introducido por ninguna red

<i>Offset</i>	<i>Stratum1</i>	<i>Stratum 2</i>
Media	4,97881E-08	5,36652E-06
Error típico	9,95757E-08	2,38741E-05
Mediana	-0,00000012	-0,000005
Desviación estándar	6,344E-06	0,001088563
Varianza de la muestra	4,02463E-11	1,18497E-06
Rango	0,00022092	0,03815
Mínimo	-0,00009404	-0,027
Máximo	0,00012688	0,01115

Aún así, si se comparan los datos de la corrección en PPM del reloj no hay grandes diferencias respecto a estadísticas de casos más desfavorables, esto es lógico debido a que NTP no coge la hora del servidor sino que va introduciendo correcciones en la frecuencia de nuestro oscilador local respecto a la ideal.

<i>Corrección en frecuencia (PPM)</i>	<i>Stratum1</i>	<i>Stratum 2</i>
Media	-27,8192267	-27,39803608
Error típico	0,00690329	0,01164318
Mediana	-27,779	-27,356
Desviación estándar	0,43981063	0,53088303
Varianza de la muestra	0,19343339	0,281836791
Rango	12,121	8,128
Mínimo	-33,155	-34,208
Máximo	-21,034	-26,08

El ruido también se reduce aunque no de forma muy significativa en media

<i>RMS Jitter (s)</i>	<i>Stratum1</i>	<i>Stratum 2</i>
Media	0,00048152	0,000584271
Error típico	6,5896E-06	2,57763E-05
Mediana	0,00039489	0,000333209
Desviación estándar	0,00041983	0,001175298
Varianza de la muestra	1,7626E-07	1,38132E-06
Coefficiente de asimetría	6,69009866	0,015955528
Rango	0,00552697	0,000152439
Mínimo	0,00019026	0,016107967

4.3.2. Comparación entre stratum 2 sin par o con par

En general los datos mejoran ligeramente tanto para offset como para ruido aunque las correcciones aumentan casi una parte por millón. En general se aprecia como el establecimiento de un para aporta robustez.

<i>Offset (s)</i>	<i>Stratum 2</i>	<i>Stratum 2 con un par</i>
Media	5,36652E-06	4,7813E-06
Error típico	2,38741E-05	7,74019E-06
Mediana	-0,000005	-0,000004
Desviación estándar	0,001088563	0,000350708
Varianza de la muestra	1,18497E-06	1,22996E-07
Rango	0,03815	0,004246
Mínimo	-0,027	-0,00227
Máximo	0,01115	0,001976

<i>Corrección en frecuencia (PPM)</i>	<i>Stratum 2</i>	<i>Stratum 2 con un par</i>
Media	-27,39803608	-28,53503361
Error típico	0,01164318	0,009014735
Mediana	-27,356	-28,465
Desviación estándar	0,53088303	0,408458024
Varianza de la muestra	0,281836791	0,166837957
Rango	8,128	3,879
Mínimo	-34,208	-31,563
Máximo	-26,08	-27,684

<i>RMS Jitter (s)</i>	<i>Stratum 2</i>	<i>Stratum 2 con un par</i>
Media	0,000584271	0,000365587
Error típico	2,57763E-05	3,1845E-06
Mediana	0,000333209	0,000331704
Desviación estándar	0,001175298	0,00014429
Varianza de la muestra	1,38132E-06	2,08196E-08
Rango	0,015955528	0,001199833
Mínimo	0,000152439	0,000146687
Máximo	0,016107967	0,00134652

En este caso se adjuntan los datos de retardo pero no son significativos, ya que en la segunda columna estos retrasos son respecto al servidor de hora, que por tanto soporta más peticiones y la tercera son respecto al par, que al tener sólo peticiones provenientes de un equipo, puede atenderlas más rápidamente.

<i>Delay</i>	<i>Stratum 2</i>	<i>Stratum 2 con un par</i>
Media	0,08639335	0,02702322
Error típico	0,00027293	4,8074E-06
Mediana	0,09571568	0,0268538
Desviación estándar	0,02642594	0,00042899
Rango	0,32607087	0,00174546
Mínimo	0,02359921	0,02639178
Máximo	0,34967008	0,02813724

4.3.3. Stratum 2 con diferentes intervalos de sondeo

En este se ve como es efectivo forzar intervalos de sondeo de un tamaño controlado, al igual que el hecho de forzar un intervalo máximo empeora notablemente nuestros resultados.

<i>Offset (s)</i>	<i>Stratum 2</i>	<i>Maxpoll 16</i>	<i>Maxpoll 32</i>	<i>Minpoll 64</i>
Media	5,36652E-06	1,1124E-06	2,25882E-06	7,52987E-05
Error típico	2,38741E-05	1,661E-05	0,000105321	0,000183676
Mediana	-0,000005	-0,000004	-0,0000235	0,000008
Desviación estándar	0,001088563	0,00075772	0,004554444	0,008016778
Varianza de la muestra	1,18497E-06	5,7414E-07	4,316810883	6,42687E-05
Rango	0,03815	0,024336	0,151032	0,30336
Mínimo	-0,027	-0,012559	-0,063876	-0,151476
Máximo	0,01115	0,011777	0,087156	0,151884

4.3.4. Stratum 2 con sobrecarga de red

Hay un aumento por cuarenta del offset y casi por treinta de la desviación estándar de las muestras, de media

<i>Offset</i>	<i>Stratum 2</i>	<i>Sobrecarga de la red</i>
Media	5,36652E-06	0,00021905
Error típico	2,38741E-05	0,00068654
Mediana	-0,000005	-0,000014
Desviación estándar	0,001088563	0,03339422
Varianza de la muestra	1,18497E-06	0,00111517
Rango	0,03815	0,255399
Mínimo	-0,027	-0,127817
Máximo	0,01115	0,127582

El aumento aquí de la desviación de la muestra es enorme. Se ve claramente como el algoritmo trata de compensar todos los retardos

<i>PPM</i>	<i>Stratum 2</i>	<i>Sobrecarga de la red</i>
Media	-27,39803608	-27,6774184
Error típico	0,01164318	0,64849357
Mediana	-27,356	-27,726
Desviación estándar	0,53088303	31,54373
Varianza de la muestra	0,281836791	995,006905
Rango	8,128	352,733
Mínimo	-34,208	-222,198
Máximo	-26,08	130,535

Lo mismo sucede con el Jitter

<i>RMS Jitter</i>	<i>Stratum 2</i>	<i>Sobrecarga de la red</i>
Media	0,000584271	0,01518216
Error típico	2,57763E-05	0,00054616
Mediana	0,000333209	0,00102183
Desviación estándar	0,001175298	0,02656595
Varianza de la muestra	1,38132E-06	0,00070575
Rango	0,015955528	0,11213969
Mínimo	0,000152439	9,54E-07
Máximo	0,016107967	0,11214064

En cambio, los retardos de red no aumentan de una forma espectacular teniendo en cuenta que se trabaja sobre Internet y no una LAN. Esto se debe a que nuestros paquetes llegan al servidor como siempre, el problema en realidad está en que el cliente no puede enviar las peticiones cuando desee ya que tiene que compartir ancho de banda de conexión con otras aplicaciones.

<i>Delay</i>	<i>Stratum 2</i>	<i>Sobrecarga de la red</i>
Media	0,08639335	0,148225133
Error típico	0,00027293	0,000926385
Mediana	0,09571568	0,127931996
Desviación estándar	0,02642594	0,081179038
Rango	0,32607087	0,006590036
Mínimo	0,02359921	0
Máximo	0,34967008	2,477172979

4.3.5. Stratum 2 con sobrecarga del procesador

Se aprecia en la tabla siguiente como la media de offset aumenta casi por 100, ya que se ha perdido la sincronización por un largo periodo de tiempo.

<i>Offset</i>	<i>Antes de perder la sincronización</i>	<i>después de perder la sincronización</i>
Media	-1,27524E-06	0,00010418
Error típico	4,66951E-05	0,000185909
Mediana	-0,0000065	0,0000565
Desviación estándar	0,001157058	0,004038978
Varianza de la muestra	1,33878E-06	1,63133E-05
Rango	0,01087	0,081931
Mínimo	-0,005942	-0,017318
Máximo	0,004928	0,064613

Aunque pueda parecer que la media no ha variado significativamente, es en la desviación estándar de esta corrección en lo más significativo. Las correcciones van a ser siempre pequeñas (entre las 27PPM y las 28 PPM) sin embargo la desviación se incrementa en una unidad cuando no variaba más que unas décimas de partes por millón entre el stratum 1 y el stratum 2 por ejemplo.

<i>Corrección de frecuencia en PPM</i>	<i>Antes de perder la sincronización</i>	<i>después de perder la sincronización</i>
Media	-28,49756026	-27,0195763
Error típico	0,029102785	0,07880641
Mediana	-28,5375	-27,157
Desviación estándar	0,721138593	1,71211357
Varianza de la muestra	0,52004087	2,93133288
Rango	6,737	14,915
Mínimo	-31,625	-31,196
Máximo	-24,888	-16,281

El Jitter RMS también sufre un aumento muy elevado.

<i>RMS Jitter</i>	<i>Antes de perder la sincronización</i>	<i>después de perder la sincronización</i>
Media	0,000911043	0,002330413
Error típico	2,37161E-05	7,61317E-05
Mediana	0,000795931	0,002104935
Desviación estándar	0,000587662	0,001654003
Varianza de la muestra	3,45347E-07	2,73573E-06
Rango	0,003267458	0,023008283
Mínimo	0,000000954	0,000184827
Máximo	0,003268412	0,02319311

Capítulo 5: Conclusiones

5.1. Conclusiones a partir de las estadísticas

Los requisitos de alineación temporal entre los elementos de un sistema varían dependiendo de su propósito o las capacidades que se le requieran.

En la realización del trabajo se han asumido como requisitos los más estrictos que normalmente son los asociados a un sistema que debe hacer intercepciones a elementos que vuelan a una velocidad aproximada de 1000 Km/h.

Con este supuesto y mediante un sencillo cálculo, vemos que en 0.01 segundos este elemento volante recorre menos de 3 metros (2.8 m) distancia inferior a la dispersión o el error probable de un sistema de intercepción.

Una vez hecha esta consideración, vemos que las medias del offset temporal de nuestras configuraciones NTP cumplen sobradamente el requisito de partida.

Para máximos puntuales de este offset temporal, un equipo stratum 2 configurado en modo par con otro equipo stratum 2 mejora este requisito aproximadamente en 10 veces, más que suficiente.

5.2. Diseño a bordo

5.2.1. Sistema de sincronización en el buque

A bordo, el elemento clave para la coordinación temporal del sistema de combate es la central horaria, que conforma el nivel 1 de nuestra jerarquía NTP.

La figura que se incluye a continuación es un diagrama de bloques que muestra la relación existente entre la referencia de tiempo UTC, los distintos niveles de sincronización horaria, la red de sincronización y los sistemas sincronizados en el buque:

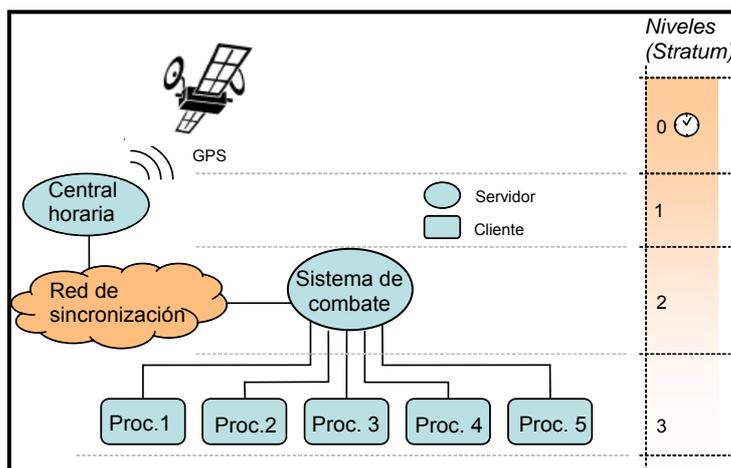


Figura 39: Referencia UTC y Jerarquía NTP

Como se observa en la figura, la referencia UTC es obtenida a bordo a través de la Central Horaria del buque que actúa como referencia primaria, a partir de la cual se sincroniza el sistema y, a través de éste, los restantes elementos del sistema de combate.

En el nivel 0 de la jerarquía se obtendrá el tiempo UTC a partir de un receptor GPS. Se dispondrá además de un oscilador de referencia nivel 0, encargado de mantener la referencia durante los periodos en que la señal GPS no esté disponible. En el stratum o nivel 1 se situará un servidor NTP conectado directamente a la señal obtenida del sistema GPS. Estos elementos forman parte de la Central Horaria del Buque.

El sistema contará con dos servidores NTP de stratum 2 encargados de mantener la sincronización entre todos los subsistemas que lo requieran.

Estos servidores de stratum 2 funcionarán en modo simétrico, es decir, sincronizándose uno con el otro, los llamaremos "Servidores NTP".

Los subsistemas y sistemas externos que necesiten ser sincronizados actuarán como clientes (stratum 3) de los Servidores NTP

Puesto que todos los elementos de sistema, están sincronizados con los Servidores NTP, y no directamente con la Central Horaria del Buque, ante un eventual fallo de ésta, los dos Servidores NTP mantienen sincronizados al resto de los elementos.

Tiempo a bordo

En la gestión del Tiempo en sistema hay que distinguir entre tres conceptos distintos de tiempo/hora:

- Hora UTC (Hora Universal Coordinada)
- Hora del sistema
- Hora de Presentación (Esta es la hora que aparece en las consolas sin más que añadir un offset)

Hora UTC

La UTC es actualmente la referencia establecida para expresar la hora internacional. Es el sucesor del GMT (Greenwich Mean Time: tiempo promedio del observatorio de Greenwich, en Londres) aunque todavía coloquialmente algunas veces se le denomina así. La nueva denominación fue acuñada para eliminar la inclusión de una localización específica en un estándar internacional, así como para basar la medida del tiempo en los estándares atómicos, más que en los celestes.

A diferencia del GMT, el UTC no se define por el sol o las estrellas, sino que se mide por los relojes atómicos, que son los que mayor precisión ofrecen.

Esta es una hora absoluta y ayuda a evitar confusiones que se generan debido a la diferencia de horas entre los países.

Cuando se utiliza la hora UTC se suele indicar añadiéndole una "Z", para indicar que es la hora referida al meridiano de longitud cero ("Zero"). Por ejemplo: 12:23:45z indica que es la hora de Greenwich. Como en el alfabeto internacional de radio la "Z" se pronuncia "Zulú", es frecuente que la hora UTC sea denominada "hora zulú". Es importante recordar que esta hora no cambia nunca.

La Hora UTC es proporcionada por numerosas estaciones de radio y por el sistema GPS de posicionamiento global por satélite.

En el caso de nuestro sistema la hora UTC es recibida, desde el GPS, en la Central Horaria, la cual la suministra, vía NTP, a los Servidores NTP.

Hora del sistema

Es proporcionada por los Servidores NTP al resto de elementos que forman parte del Sistema de Combate (servidores tácticos y de presentación, sensores, armas y consolas).

Todas las estampaciones de tiempo estarán referenciadas a la Hora del sistema:

Los elementos externos al sistema enviarán sus estampaciones de tiempo referidas a las 00:00 horas del día en curso.

Relación Hora del sistema y Hora UTC. Fallo en la Central Horaria.

En condiciones de funcionamiento normal, es decir, con todos los elementos sincronizados mediante NTP con los Servidores NTP y éstos sincronizados con la Central Horaria del Buque, la Hora del Sistema coincide con la Hora UTC (con la precisión que proporciona el protocolo NTP).

Ante una eventual pérdida de la sincronización con la Central Horaria del Buque, ya sea por fallo de ésta o por fallo en la red, la Hora del Sistema sigue siendo la que proporcionan los Servidores NTP, sincronizados entre ellos en modo simétrico, al resto de elementos, con la particularidad que en este caso la Hora del Sistema irá derivando frente a la Hora UTC.

Esta deriva dependerá de una serie de factores entre los que se encuentran, fundamentalmente, la calidad del reloj local de los Servidores NTP, la cantidad de tiempo en que los Servidores NTP han estado sin sincronización con la Central Horaria, etc.

Esta deriva provoca que, en el momento de recuperación de la Central Horaria, exista una diferencia entre la Hora UTC y la Hora de los Servidores NTP. En este caso es imprescindible proteger al sistema frente al salto de tiempo para no provocar errores en el funcionamiento del Sistema de Combate debidos a la discontinuidad en la hora.

Solución propuesta:

Las soluciones propuestas consisten en protegerse ante un fallo de la central ya que una vez perdida la sincronización será muy difícil volver a sincronizarnos con otros miembros de la red sin introducir saltos de tiempo en el sistema que podrían ser peligrosos.

Las opciones serían:

- Llevar un reloj atómico a bordo: esto es una central horaria redundante con la primera, que se emplearía en caso de fallo. Esta solución resulta muy costosa.
- Establecer una serie de pequeños servidores alternativos a lo largo de toda la red del barco, de forma que equipo que en realidad estaban dedicados en exclusividad a otras tareas no relacionadas con la sincronización, puedan ejercer como servidores de hora sin que esto implique una gran sobrecarga para ellos. Se ha demostrado que con un GPS comercial de bajo coste pueden obtenerse resultados muy válidos para nuestras necesidades.

Capítulo 6: Bibliografía

- Mills, D.L. Network Time Protocol Version 4 Reference and Implementation Guide. Electrical and Computer Engineering Technical Report 06-06-1, University of Delaware, June 2006
- Mills, D.L. Network Time Protocol (Version 3) specification, implementation and analysis. Network Working Group Report RFC-1305, University of Delaware, March 1992
- Mills, D. L. Computer Network Synchronization: The Network Time Protocol, CRC Press, 2006
- Página oficial de documentación de NTP:
<http://www.eecis.udel.edu/~mills/ntp/html/index.html>
- Página Oficial del proyecto NTP: <http://www.ntp.org/>
- Página del proyecto LinuxPPS: http://wiki.enneenne.com/index.php/LinuxPPS_support
- Arrufat Molina, E. *Introducción al estudio del Sistema de Posicionamiento Global (GPS)*. Servicio de publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia,

Anexo I: Segmento de memoria Compartida

Estructura del segmento de memoria compartida

```
struct shmTime {
    int    mode; /* 0 - if valid set
                 *      use values,
                 *      clear valid
                 * 1 - if valid set
                 *      if count before and after read of
                 *      values is equal,
                 *      use values
                 *      clear valid
                 */

    int    count;
    time_t clockTimeStampSec; /* external clock */
    int    clockTimeStampUsec; /* external clock */
    time_t receiveTimeStampSec; /* internal clock, when external
value was received */
    int    receiveTimeStampUsec; /* internal clock, when external
value was
received */
    int    leap;
    int    precision;
    int    nsamples;
    int    valid;
    int    dummy[10];
};
```

Operation mode=0

When the poll-method of the driver is called, the valid-flag of the shared memory-segment is checked:

If set, the values in the record (clockTimeStampSec, clockTimeStampUsec, receiveTimeStampSec, receiveTimeStampUsec, leap, precision) are passed to ntp, and the valid-flag is cleared.

If not set, a timeout is reported to ntp, nothing else happens

Operation mode=1

When the poll-method of the driver is called, the valid-flag of the shared memory-segment is checked:

If set, the count-field of the record is remembered, and the values in the record (clockTimeStampSec, clockTimeStampUsec, receiveTimeStampSec, receiveTimeStampUsec, leap, precision) are read. Then, the remembered count is compared to the count now in the record. If both are equal, the values read from the record are passed to ntp. If they differ, another process has modified the record while it was read out (was not able to produce this case), and failure is reported to ntp. The valid flag is cleared.

If not set, a timeout is reported to ntp, nothing else happend

Fudge Factors

`time1 time` Specifies the time offset calibration factor, in seconds and fraction, with default 0.0.

`time2 time` Not used by this driver.

`stratum number` Specifies the driver stratum, in decimal from 0 to 15, with default 0.

`refid string` Specifies the driver reference identifier, an ASCII string from one to four characters, with default SHM.

`flag1 0 | 1` Not used by this driver.

`flag2 0 | 1` Not used by this driver.

`flag3 0 | 1` Not used by this driver.

`flag4 0 | 1` Not used by this driver.

Anexo II: Formato de Datos

A. Appendix A. NTP Data Format - Version 3

The format of the NTP Message data area, which immediately follows the UDP header, is shown in Figure 4. Following is a description of its fields.

Leap Indicator (LI): This is a two-bit code warning of an impending leap second to be inserted/deleted

in the last minute of the current day, with bit 0 and bit 1, respectively, coded as follows:

- 00 no warning
- 01 last minute has 61 seconds
- 10 last minute has 59 seconds)
- 11 alarm condition (clock not synchronized)

Version Number (VN): This is a three-bit integer indicating the NTP version number, currently three (3).

Mode: This is a three-bit integer indicating the mode, with values defined as follows:

- 0 reserved
- 1 symmetric active
- 2 symmetric passive
- 3 client
- 4 server
- 5 broadcast
- 6 reserved for NTP control message (see Appendix B)
- 7 reserved for private use

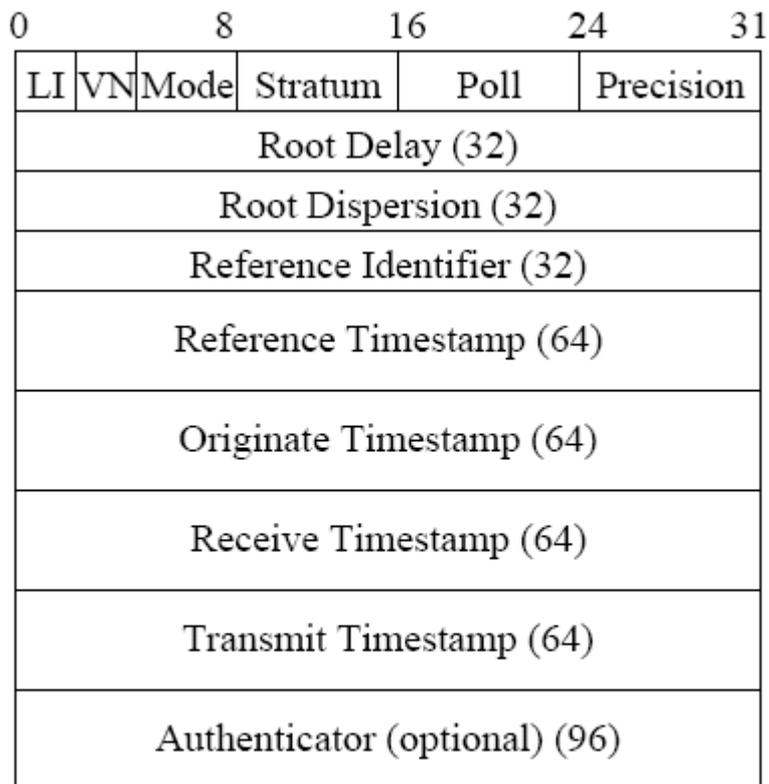


Figure 4. NTP Message Header

Stratum: This is a eight-bit integer indicating the stratum level of the local clock, with values defined

as follows:

- 0 unspecified
- 1 primary reference (e.g., radio clock)
- 2-255 secondary reference (via NTP)

The values that can appear in this field range from zero to NTP.INFIN inclusive.

Poll Interval: This is an eight-bit signed integer indicating the maximum interval between successive

messages, in seconds to the nearest power of two. The values that can appear in this field range

from NTP.MINPOLL to NTP.MAXPOLL inclusive.

Precision: This is an eight-bit signed integer indicating the precision of the local clock, in seconds

to the nearest power of two.

Root Delay: This is a 32-bit signed fixed-point number indicating the total roundtrip delay to the primary reference source, in seconds with fraction point between bits 15 and 16. Note that this variable can take on both positive and negative values, depending on clock precision and skew.

Root Dispersion: This is a 32-bit signed fixed-point number indicating the maximum error relative

to the primary reference source, in seconds with fraction point between bits 15 and 16. Only positive values greater than zero are possible.

Reference Clock Identifier: This is a 32-bit code identifying the particular reference clock. In the case of stratum 0 (unspecified) or stratum 1 (primary reference), this is a four-octet, left-justified, zero-padded ASCII string. While not enumerated as part of the NTP specification, the following are suggested ASCII identifiers:

Stratum	Code	Meaning
0	DCN	DCN routing protocol
0	NIST	NIST public modem
0	TSP	TSP time protocol
0	DTS	Digital Time Service
1	ATOM	Atomic clock (calibrated)
1	VLF	VLF radio (OMEGA, etc.)
1	callsign	Generic radio
1	LORC	LORAN-C radionavigation
1	GOES	GOES UHF environment satellite
1	GPS	GPS UHF satellite positioning

In the case of stratum 2 and greater (secondary reference) this is the four-octet Internet address of the primary reference host.

Reference Timestamp: This is the local time at which the local clock was last set or corrected, in 64-bit timestamp format.

Originate Timestamp: This is the local time at which the request departed the client host for the service host, in 64-bit timestamp format.

Receive Timestamp: This is the local time at which the request arrived at the service host, in 64-bit timestamp format.

Transmit Timestamp: This is the local time at which the reply departed the service host for the host, in 64-bit timestamp format.

Authenticator (optional): When the NTP authentication mechanism is implemented, this contains the authenticator information defined in Appendix C.

RFC-1305 Network Time Protocol (Version 3) March 1992
Mills Page 52

Anexo III: Datos Técnicos de la Central Horaria

Hardware

The NTS-4000 time server set includes:

- **NTP time server** unit (Rack'19/1U) with built in **OCXO oscillator**pcs 1
- External **GPS antenna box** (*Channel A*)pcs 1
- GPS antenna box **mounting handler**pcs 1
- **Ethernet cable** (2m)pcs 2
- Power cable (230V AC)pcs 1
- Set of RJ45 connectors /to be cramped on the end of antenna cable/pcs 4
- CD with Windows software and PDF manual.....pcs 1

extra options to be ordered separately /not included in set/:

- **Antenna cable** (UTP or STP Cat. 5)
- External 2nd **GPS antenna box** (*Channel B*)
- European RF-AM **DCF77** receiver modules (for both channels A & B)
- **IRIG-B** support firmware upgrade
- **1PPS coaxial cable** (50Ohm for external 1PPS synchronization)
- **NTS-protect** – lighting system



Figure 2: Front panel of NTS-4000

The 2x20 characters LCD display shows: GPS status, *local* or *UTC* time stamp information, GPS antenna position and various of system parameters like: internal temperature etc. The device comes with 6-key keyboard for: quick IP device configuration, firmware rev. info, factory default restoring etc. The RS232 and 2x USB are preserved for future functionality and service purposes. LAN2 connector contains 2 led: green - indicates cable connection, yellow - flashes while data is being transmitted. Each plugging/unplugging of Ethernet cable will be indicated on LCD display by reviewing TCP/IP configuration for specific LAN interface.



Figure 3: Back panel of NTS-4000

On the back panel there is a power connection 110/230V AC (50Hz), LAN1, 2xGPS antenna connectors (A/B) and various I/O time interfaces. Below table describes connectors and related into it function:

Name	Connector	Standard	Purpose	Availability
Antenna (A)	RJ-45	RS-485	Antenna connector (main antenna)	+
Antenna (B)	RJ-45	RS-485	Antenna connector (backup antenna)	+
IRIG-B IN*	BNC	IRIG-B	IRIG-B source signal (optionally)	+
IRIG-OUT*	BNC	IRIG-B	IRIG-B output signal (optionally)	+
10 MHz	BNC	10MHz	10 MHz output reference signal	x
1 PPS IN	BNC	1pps	1 PPS (pulse per second) source signal	+
1 PPS OUT	BNC	1pps	1 PPS (pulse per second) output signal	x
TIMER IN	DSUB9	RS-232	2xPPS (pule per second) input signal	x
TIMER OUT	DSUB9	Various	Extra feature (not available yet)	x
LAN1	RJ-45	TCP/IP	Local Area Network interface (back panel)	+

LAN2	RJ-45	TCP/IP	Local Area Network interface (front panel)	+
RS-232	DSUB9	RS-232	For technical and service purpose	+
USB	KUSB	USB	For technical and service purpose	+

* - special feature option (required to be purchased separately)
x - absolute for this model

Dual Antenna A/B system,

Each antenna Channel (A/B) can operate as INPUT or OUTPUT (GPS NMEA mode). Antenna input mode can support simultaneously GPS + DCF77* receivers. Antenna OUTPUT mode supports only GPS (NMEA) emulation + 1PPS support. Elproma offers additional hardware for NTP time servers. New generation time reference pattern can be simultaneously drawn from GPS L1/L2, SBAS, EGNOS, WAAS, GLONASS, and tomorrow from GELILEO too.

There are 2 LED (red, green) on the back panel of NTS-4000 to indicate GPS, OCXO 1PPS synchronization. The following unit status is reported on LED's:

GREEN LED STATUS

OFF NTP demon not started

ON NTP demon started

BLINKS synchronized to OCXO

RED LED STATUS

OFF No GPS signal

ON synchronized to GPS (NMEA)

BLINKS synchronized to GPS (1PPS)

