

UIT-T

G.8271/Y.1366

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

(07/2016)

**SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN,
SISTEMAS Y REDES DIGITALES**

Aspectos relativos a los protocolos en modo paquete
sobre la capa de transporte – Sincronización, objetivos
de calidad y disponibilidad

**SERIE Y: INFRAESTRUCTURA MUNDIAL DE LA
INFORMACIÓN, ASPECTOS DEL PROTOCOLO
INTERNET, REDES DE PRÓXIMA GENERACIÓN,
INTERNET DE LAS COSAS Y CIUDADES
INTELIGENTES**

Aspectos del protocolo Internet – Transporte

**Aspectos relativos a la sincronización de
tiempo y fase en las redes de paquetes**

Recomendación UIT-T G.8271/Y.1366

RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE G
SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS	G.200–G.299
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.300–G.399
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATÉLITE E INTERCONEXIÓN CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.400–G.449
COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONÍA Y LA TELEFONÍA EN LÍNEA	G.450–G.499
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN Y DE LOS SISTEMAS ÓPTICOS	G.600–G.699
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999
CALIDAD DE SERVICIO Y DE TRANSMISIÓN MULTIMEDIOS – ASPECTOS GENÉRICOS Y ASPECTOS RELACIONADOS AL USUARIO	G.1000–G.1999
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.6000–G.6999
DATOS SOBRE CAPA DE TRANSPORTE – ASPECTOS GENÉRICOS	G.7000–G.7999
ASPECTOS RELATIVOS A LOS PROTOCOLOS EN MODO PAQUETE SOBRE LA CAPA DE TRANSPORTE	G.8000–G.8999
Aspectos relativos al protocolo Ethernet sobre la capa de transporte	G.8000–G.8099
Aspectos relativos al protocolo MPLS sobre la capa de transporte	G.8100–G.8199
Sincronización, objetivos de calidad y disponibilidad	G.8200–G.8299
Gestión de servicios	G.8600–G.8699
REDES DE ACCESO	G.9000–G.9999

Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.

Recomendación UIT-T G.8271/Y.1366

Aspectos relativos a la sincronización de tiempo y fase en las redes de paquetes

Resumen

En la Recomendación UIT-T G.8271/Y.1366 se definen aspectos relativos a la sincronización de tiempo y fase en las redes de paquetes. Además, se especifican los métodos adecuados para distribuir las señales de temporización de referencia que pueden emplearse para recuperar la sincronización de fase y/o tiempo con el nivel de calidad exigido.

A fin de garantizar la interoperabilidad de equipos de distintos fabricantes y una calidad de funcionamiento de la red satisfactoria, cabe atenerse a los requisitos aplicables a las características de sincronización que se especifican en la presente Recomendación.

Historia

Edición	Recomendación	Aprobación	Comisión de Estudio	ID único*
1.0	ITU-T G.8271/Y.1366	2012-02-13	15	11.1002/1000/11527
1.1	ITU-T G.8271/Y.1366 (2012) Amd. 1	2013-08-29	15	11.1002/1000/12033
1.2	ITU-T G.8271/Y.1366 (2012) Amd. 2	2015-01-13	15	11.1002/1000/12391
2.0	ITU-T G.8271/Y.1366	2016-07-07	15	11.1002/1000/12812
2.1	ITU-T G.8271/Y.1366 (2016) Amd. 1	2017-08-13	15	11.1002/1000/13322

Palabras clave

Métodos e interfaces, requisitos aplicables a la sincronización de tiempo y de fase.

* Para acceder a la Recomendación, sírvase digitar el URL <http://handle.itu.int/> en el campo de dirección del navegador, seguido por el identificador único de la Recomendación. Por ejemplo, <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>.

PREFACIO

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones y de las tecnologías de la información y la comunicación. El Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

La observancia de esta Recomendación es voluntaria. Ahora bien, la Recomendación puede contener ciertas disposiciones obligatorias (para asegurar, por ejemplo, la aplicabilidad o la interoperabilidad), por lo que la observancia se consigue con el cumplimiento exacto y puntual de todas las disposiciones obligatorias. La obligatoriedad de un elemento preceptivo o requisito se expresa mediante las frases "tener que, haber de, hay que + infinitivo" o el verbo principal en tiempo futuro simple de mandato, en modo afirmativo o negativo. El hecho de que se utilice esta formulación no entraña que la observancia se imponga a ninguna de las partes.

PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT no ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB en la dirección <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© UIT 2017

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

	Página
1 Alcance	1
2 Referencias	1
3 Definiciones	2
4 Siglas y acrónimos	2
5 Convenios	3
6 Necesidad de sincronización de tiempo y fase	4
7 Métodos de sincronización de tiempo y fase	5
7.1 PRTC distribuido	5
7.2 Métodos basados en paquetes con temporización de los nodos intermedios	6
8 Modelo de red de referencia	8
8.1 Sección de acceso de un modelo ficticio de referencia con función de interfuncionamiento de acceso nativo/PTP	10
9 Interfaces de sincronización de tiempo y fase	11
Anexo A – Especificación de la interfaz de sincronización de tiempo y fase de un impulso por segundo	12
A.1 Interfaz UIT-T V.11 de 1PPS	12
A.2 Interfaz de medición de sincronización de fase de 1PPS y 50 Ω	18
Apéndice I – Generadores de tiempo y ruido de fase en cadenas cde distribución de tiempo	19
I.1 Ruido introducido por un reloj de tiempo de referencia primario (PRTC)	19
I.2 Ruido introducido por una función de reloj maestro de paquetes	19
I.3 Ruido introducido por una función de reloj esclavo de paquetes	19
I.4 Ruido introducido por un reloj transparente de telecomunicaciones	19
I.5 Ruido introducido por un enlace	20
I.6 Derivación de la asimetría del retardo	20
I.7 Características de las fuentes de ruido	22
I.8 Acumulación de errores de tiempo en una cadena de relojes	24
Apéndice II – Requisitos de sincronización de tiempo y fase en aplicaciones finales	25
Apéndice III – Compensación de la asimetría debida a la utilización de distintas longitudes de onda	28
Apéndice IV – Compensación de la asimetría de enlace y red	29
Apéndice V – Asimetría de retardo fruto de un cambio en la velocidad de la interfaz de elementos de red no habilitados para PTP	31
Bibliografía	34

Recomendación UIT-T G.8271/Y.1366

Aspectos relativos a la sincronización de tiempo y fase en las redes de paquetes

1 Alcance

En la presente Recomendación se definen aspectos relativos a la sincronización de tiempo y fase en las redes de paquetes. Además, se especifican los métodos adecuados para distribuir las señales de temporización de referencia que pueden emplearse para recuperar la sincronización de fase y/o tiempo con el nivel de calidad exigido, y las correspondientes interfaces de sincronización de tiempo y fase junto con una serie de criterios de calidad de funcionamiento conexos.

El ámbito de aplicación de la presente Recomendación comprende actualmente las redes de paquetes relacionadas con:

- Ethernet ([IEEE 802.3] e [IEEE 802.1Q]).
- MPLS ([IETF RFC 3031] y [UIT-T G.8110]).
- IP ([IETF RFC 791] y [RFC 2460]).

Las capa físicas pertinentes para esta Recomendación son las de tipos de medios Ethernet, tal y como se define en [IEEE 802.3].

2 Referencias

Las siguientes Recomendaciones UIT-T y demás referencias contienen disposiciones que, por referencia a las mismas en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. En la fecha de publicación, las ediciones citadas estaban en vigor. Todas las Recomendaciones y demás referencias están sujetas a revisión, por lo que se alienta a los usuarios de esta Recomendación a que consideren la posibilidad de aplicar la edición más reciente de las Recomendaciones y demás referencias que se indican a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T vigentes. La referencia a un documento en el marco de esta Recomendación no confiere al mismo carácter de Recomendación.

- [UIT-T G.703] Recomendación UIT-T G.703 (2016), *Características físicas y eléctricas de las interfaces digitales jerárquicas*.
- [UIT-T G.810] Recomendación UIT-T G.810 (1996), *Definiciones y terminología para redes de sincronización*.
- [UIT-T G.8110] Recomendación UIT-T G.8110/Y.1370 (2005), *Arquitectura de la red de capa con conmutación por etiquetas multiprotocolo*.
- [UIT-T G.8260] Recomendación UIT-T G.8260 (2015), *Definiciones y terminología para la sincronización en redes de paquetes*.
- [UIT-T G.8261] Recomendación UIT-T G.8261/Y.1361 (2013), *Aspectos de la temporización y la sincronización en las redes de paquetes*.
- [UIT-T V.11] Recomendación UIT-T V.11/X.27 (1996), *Características eléctricas de los circuitos de enlace simétricos de doble corriente que funcionan con velocidades binarias de hasta 10 Mbit/s*.
- [IEEE 802.1Q] IEEE 802.1Q-2014, *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks – Bridges and Bridged Networks*
<<http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.1Q-2014.html>>
- [IEEE 802.3] IEEE 802.3-2015, *IEEE Standard for Ethernet*.
<<http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.3-2015.html>>

- [IEEE 1588] IEEE 1588-2008, *Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems*.
<<http://standards.ieee.org/findstds/standard/1588-2008.html>>.
- [IETF RFC 791] IETF RFC 791 (1981), *Internet Protocol (IP)*.
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc0791.txt?number=791>>.
- [IETF RFC 2460] IETF RFC 2460 (1998), *Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification*.
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc2460.txt?number=2460>>
- [IETF RFC 3031] IETF RFC 3031 (2001), *Multiprotocol Label Switching Architecture*.
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc3031.txt?number=3031>>

3 Definiciones

Los términos y definiciones utilizados en la presente Recomendación figuran en [UIT-T G.810], [UIT-T G.8260] e [IEEE 1588].

4 Siglas y acrónimos

En la presente Recomendación se utilizan las siguientes siglas y acrónimos:

1PPS	Un impulso por segundo (<i>one pulse per second</i>)
CDMA	Acceso múltiple por división de código (<i>code division multiple access</i>)
DCF	Fibra compensadora de la dispersión (<i>dispersion compensating fibre</i>)
FCS	Secuencia de verificación de trama (<i>frame check sequence</i>)
FDD	Dúplex por división de frecuencia (<i>frequency division duplex</i>)
GBAS	Sistema de aumento basado en tierra (<i>ground based augmentation system</i>)
GNSS	Sistema mundial de navegación por satélite (<i>global navigation satellite system</i>)
GPS	Sistema mundial de determinación de posición (<i>global positioning system</i>)
HRPD	Datos en paquetes a alta velocidad (<i>high rate packet data</i>)
IP	Protocolo Internet (<i>Internet protocol</i>)
IRNSS	Sistema de navegación por satélite regional indio (<i>indian regional navigation satellite system</i>)
LTE	Evolución a largo plazo (<i>long term evolution</i>)
LTE-A	Evolución a largo plazo – Avanzada (<i>long term evolution – advanced</i>)
MAC	Control de acceso al medio (<i>medium access control</i>)
MBMS	Servicio de multidistribución de emisiones multimedios (<i>multimedia broadcast multicast service</i>)
MBSFN	MBMS basado en redes monofrecuencia (<i>MBMS based on single frequency network</i>)
M2M	Máquina a máquina (<i>machine to machine</i>)
NTP	Protocolo de señales horarias de red (<i>network time protocol</i>)
OTN	Red óptica de transporte (<i>optical transport network</i>)
PDV	Variación del retardo entre paquetes (<i>packet delay variation</i>)
PHY	Protocolo de capa física (<i>physical layer protocol</i>)

PRTC	Reloj de tiempo de referencia primario (<i>primary reference time clock</i>)
PSN	Red con conmutación de paquetes (<i>packet switched network</i>)
PTP	Protocolo de tiempo de precisión (<i>precision time protocol</i>)
QZSS	Sistema de satélites cuasi-cenital (<i>quasi-zenith satellite system</i>)
RTT	Tecnología de transmisión radioeléctrica (<i>radio transmission technology</i>)
SBAS	Sistema de aumento basado en satélite (<i>satellite based augmentation system</i>)
TAI	Tiempo atómico internacional (<i>international atomic time</i>)
TDD	Dúplex por división en el tiempo (<i>time division duplexing</i>)
TD-SCDMA	CDMA sincronizado en el tiempo (<i>time domain synchronized CDMA</i>)
T-BC	Reloj de frontera de telecomunicaciones (<i>telecom boundary clock</i>)
T-GM	Maestro principal de telecomunicaciones (<i>telecom grandmaster</i>)
T-TC	Reloj transparente de telecomunicaciones (<i>telecom transparent clock</i>)
T-TSC	Reloj esclavo de tiempo de telecomunicaciones (<i>telecom time slave clock</i>)
UDP	Protocolo de datagrama de usuario (<i>user datagram protocol</i>)
UTC	Tiempo universal coordinado (<i>universal time co-ordinated</i>)
UTRA	Acceso radioeléctrico terrenal universal (<i>universal terrestrial radio access</i>)
WCDMA	CDMA de banda ancha (<i>wideband CDMA</i>)
WDM	Multiplexación por división de longitud de onda (<i>wavelength-division-multiplexing</i>)
WiMAX	Interoperabilidad mundial para acceso por microondas (<i>worldwide interoperability for microwave access</i>)

5 Convenios

En la presente Recomendación se utilizan los siguientes convenios: El término protocolo de tiempo de precisión (PTP) hace referencia al protocolo definido en [IEEE 1588]. Como adjetivo, indica que el sustantivo modificado se especifica o interpreta en el contexto de [IEEE 1588].

El término reloj de frontera de telecomunicación (T-BC) hace referencia a un dispositivo que consta de un reloj de frontera, como se define en [IEEE 1588], y características de calidad de funcionamiento adicionales que requieren ulteriores estudios.

El término reloj transparente de telecomunicaciones (T-TC) hace referencia a un dispositivo que consta de un reloj transparente, como se define en [IEEE 1588], y características de calidad de funcionamiento adicionales que requieren ulteriores estudios.

El término maestro principal de telecomunicaciones (T-GM) hace referencia a un dispositivo que consta de un reloj maestro principal, como se define en [IEEE 1588], y características de calidad de funcionamiento adicionales que requieren ulteriores estudios.

El término reloj esclavo de tiempo de telecomunicaciones (T-TSC) hace referencia a un dispositivo que consta de un reloj común con funcionamiento sólo en modo esclavo de PTP, como se define en [IEEE 1588], y características de calidad de funcionamiento adicionales que requieren ulteriores estudios.

6 Necesidad de sincronización de tiempo y fase

Hasta ahora, la sincronización de tiempo se ha utilizado para dar soporte a funciones de facturación y alarma (mantenimiento o aislamiento de averías). En ese contexto, la sincronización debe tener por norma general una precisión de varios cientos de milisegundos.

La sincronización de tiempo también permite realizar un seguimiento de los retardos en las redes de protocolo de Internet (IP). En este caso, la precisión ha de ser de varios cientos de microsegundos (el requisito real depende de la aplicación).

Se aplican requisitos estrictos en materia de sincronización de tiempo (es decir, en el intervalo de pocos microsegundos) con miras a la generación de las interfaces de señales aéreas de ciertos sistemas móviles, tales como CDMA2000 o unidifusión LTE FDD, en el caso de que sea necesario para soportar la conexión en red síncrona CDMA2000.

La sincronización de fase suele ser fundamental para dar soporte a los requisitos aplicables a las interfaces aéreas de ciertos sistemas móviles, entre ellos, sistemas de dúplex por división en el tiempo (TDD) tales como LTE TDD, o a los servicios de multidistribución de emisiones multimedios (MBMS). Cabe tener en cuenta que la tecnología WCDMA MBMS común no requiere de una sincronización de fase rigurosa, por cuanto ha sido especificada y diseñada para funcionar correctamente en redes con una precisión de frecuencia de 50 partes por mil millones (ppmm). Dicho requisito, garantizado por la función de sincronización de nodo de WCDMA (véase [b-3GPP TS 25.402]), limita la deriva de fase a entre 10 y 20 ms. No obstante, cuando el servicio MBMS se basa en redes monofrecuencia (MBSFN), la precisión de la temporización ha de ser de pocos microsegundos. Ello se debe a que diversas formas de onda idénticas son transmitidas de forma simultánea desde múltiples células, cuyas señales se combinan y transforman en componentes de trayectos múltiples de una única célula. Por consiguiente, los terminales deben percibir las señales del conjunto de células transmisoras como si vinieran de una sola célula. En ese sentido, todas las transmisiones deben estar perfectamente sincronizadas y transmitir exactamente el mismo contenido a cada estación base.

Los principales requisitos aplicables a la salida de la aplicación (por ejemplo, en la interfaz radioeléctrica de las aplicaciones inalámbricas) se resumen en el Apéndice II.

Con arreglo al Cuadro II.1, es posible clasificar las aplicaciones en clases de requisitos, según se indica en el Cuadro 1 *infra*.

NOTA – En el caso de las aplicaciones móviles descritas en el Cuadro II.1, los requisitos suelen expresarse en términos de error de fase entre estaciones base. Con respecto al maestro centralizado, el requisito podría expresarse como \pm la mitad del requisito de precisión aplicable a la tecnología específica. El Cuadro 1 ilustra el requisito en ese formato, con objeto de permitir el análisis de la elaboración de presupuestos de error de tiempo en su forma distribuida desde el reloj de tiempo de referencia primario (PRTC) hasta la aplicación final.

Cuadro 1 – Clases de requisitos de tiempo y de fase

Grado de precisión	Requisitos de error de tiempo (Nota 1)	Aplicaciones típicas (a título informativo)
1	500 ms	Facturación, alarma
2	100 μ s	Seguimiento del retardo IP
3	5 μ s	LTE TDD (células grandes)
4	1,5 μ s	UTRA-TDD, LTE-TDD (células pequeñas) WiMAX-TDD (ciertas configuraciones)
5	1 μ s	WiMAX-TDD (ciertas configuraciones)

Cuadro 1 – Clases de requisitos de tiempo y de fase

6	x ns (Nota 3)	Varias aplicaciones, incluidos servicios basados en la localización y algunas características LTE-A (Nota 2)
<p>NOTA 1 – El requisito se expresa en términos de error con respecto a una referencia común.</p> <p>NOTA 2 – Los requisitos de calidad de funcionamiento de las características LTE-A son objeto de estudio. A título informativo, se han evocado valores de entre 500 ns y 1,5 μs para algunas de estas características. En función de las especificaciones finales que elabore 3GPP, las aplicaciones LTE-A podrán gestionarse con un grado de precisión distinto.</p> <p>NOTA 3 – Para consultar el valor de x, véase el Cuadro II.2 del Apéndice II.</p>		

En la presente Recomendación se abordan principalmente las clases de requisitos más estrictas, es decir, aquellas a las que se han asignado los grados de precisión 4, 5 y 6 en el Cuadro 1.

7 Métodos de sincronización de tiempo y fase

Los métodos basados en paquetes (que suelen aplicar el protocolo de señales horarias de red (NTP)) sin temporización de la red se emplean tradicionalmente para dar soporte a aplicaciones con requisitos de sincronización de tiempo y fase menos estrictos (véase el grado 1 del Cuadro 1).

La presente Recomendación se centra en las aplicaciones cuyos requisitos se corresponden con los grados 4, 5 y 6 del Cuadro 1.

Para dichas aplicaciones, esta Recomendación comprende las siguientes opciones:

- un enfoque basado en un reloj de tiempo de referencia primario (PRTC) distribuido, que prevé la implantación de un receptor de sistema mundial de navegación por satélite (GNSS) en la aplicación final (por ejemplo, un receptor de sistema mundial de determinación de posición (GPS)); y
- métodos basados en paquetes con temporización de los nodos intermedios.

NOTA – La utilización de métodos basados en paquetes sin temporización de los nodos intermedios y la definición de las clases de requisitos previstas en el Cuadro 1 que pueden soportar requieren estudios.

En los siguientes apartados se detallan las características de los distintos métodos de sincronización.

7.1 PRTC distribuido

Uno de los métodos de sincronización de tiempo y fase consiste en enviar una señal de sincronización directamente a cada reloj de la red. Este método se denomina "Reloj de tiempo de referencia primario distribuido" y, en general, puede aplicarse mediante distribución radioeléctrica, pues la distribución alámbrica en el conjunto de la red precisaría de una red adicional completa, lo que puede resultar poco práctico. No obstante, en algunos casos, la señal PRTC también podría distribuirse a distancia a través de cables. La distribución radioeléctrica suele llevarse a cabo por medio de un sistema GNSS, por ejemplo, un GPS. A tal efecto, también pueden utilizarse otros sistemas radioeléctricos.

El objetivo principal de una red de sincronización es sincronizar las aplicaciones finales que requieren una referencia de temporización. En caso de existir varias aplicaciones finales en un mismo emplazamiento, es posible implantar una única referencia PRTC y recurrir a una función centralizada para distribuir la referencia de tiempo y/o fase dentro del mismo. Los detalles relativos a dicha función centralizada requieren estudios.

La Figura 1 *infra* ilustra a grandes líneas el método de PRTC distribuido. En el caso de la sincronización basada en el sistema GNSS, las señales de satélite distribuyen la señal de temporización de referencia y el receptor GNSS actúa como PRTC de la red. El receptor (RX en la figura) procesa la señal GNSS y extrae una señal de referencia para las aplicaciones finales.

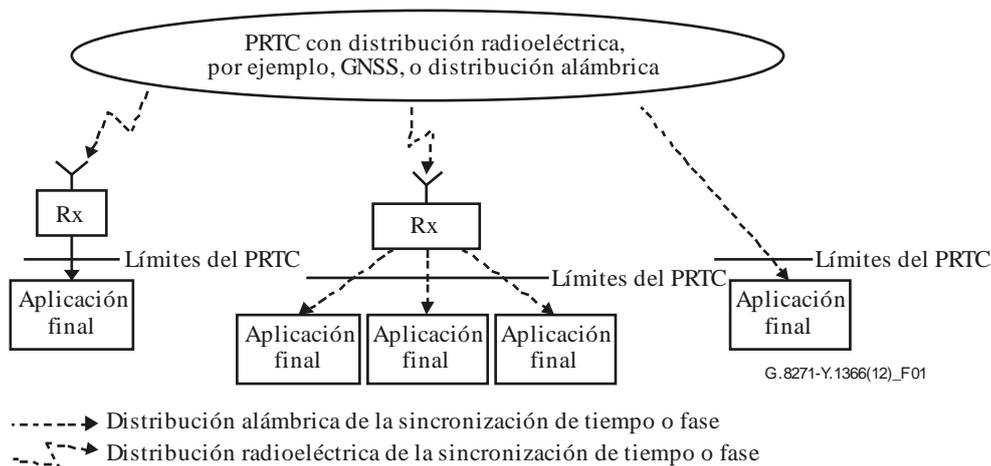


Figura 1 – Ejemplo de red de sincronización de PRTC distribuido

Características principales

Una de las principales ventajas del método de PRTC distribuido radica en que, en el caso de los sistemas GNSS, las señales de temporización de referencia están disponibles a escala mundial. Además, permite una jerarquía de distribución horizontal y previene el riesgo de bucles de temporización. En general, la planificación global de la red es más sencilla.

Los principales inconvenientes de este método consisten en que el operador depende del sistema de navegación, que se necesita una antena con un ángulo de visión al cielo amplio y que es preciso abordar la cuestión de la protección contra el rayo y, en general, todas las cuestiones relacionadas con el cableado de la antena.

Finalmente, los sistemas basados en GNSS pueden sufrir interferencias, por ejemplo, de sistemas de TV, saturación e interferencia deliberada.

Sin embargo, cabe mencionar que la evolución tecnológica aminora algunos de los inconvenientes principales (véanse la instalación, la fiabilidad, etc.). Además, se debería poder garantizar la seguridad de los receptores GNSS, por ejemplo, cuando se dispone de una referencia de frecuencia precisa, tal como una señal de Ethernet síncrona. Las opciones encaminadas a garantizar la seguridad de los receptores GNSS requieren estudios adicionales.

En términos de calidad de funcionamiento, el grado de exactitud que puede propiciar un sistema de PRTC requiere estudios adicionales.

7.2 Métodos basados en paquetes con temporización de los nodos intermedios

La sincronización de tiempo puede distribuirse a través de protocolos de temporización, tales como el PTP (véase [IEEE 1588]). La presente Recomendación se centra en los casos en que la referencia de temporización se transporta con el soporte de la red.

El concepto de temporización en los nodos intermedios (véanse los conmutadores Ethernet) hace referencia tanto a un soporte físico específico como a una serie de funciones de temporización de soporte lógico (véase la Figura 2).

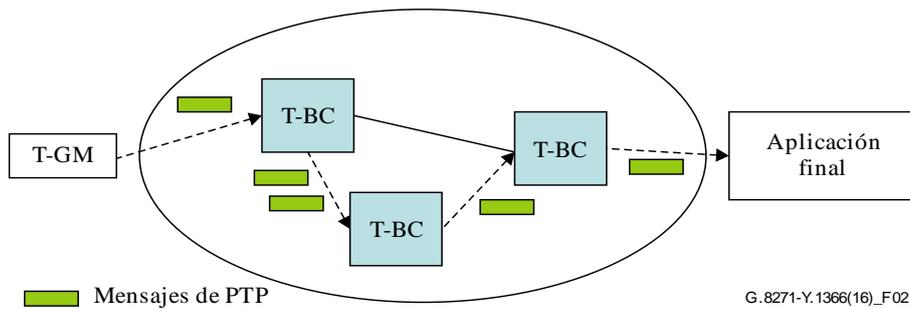


Figura 2 – Ejemplo de método basado en paquetes con soporte de nodos de red

En el caso del PTP, estas funciones pueden incumbir al T-BC o al T-TC, con sellado de tiempo por el soporte físico en las interfaces conexas.

El T-BC finaliza y regenera los mensajes de sellado de tiempo.

El T-TC brinda un medio para medir los retardos añadidos por el elemento de red y por los enlaces conectados a este último. En la presente Recomendación se considera únicamente el soporte de T-BC. La utilización de un T-TC en aplicaciones de telecomunicaciones requiere estudios adicionales.

La siguiente figura ilustra un ejemplo de sincronización de fase y/o tiempo distribuida a través de métodos basados en paquetes con temporización de la red. Una función de reloj maestro de paquetes en un T-GM con acceso a una señal de temporización de referencia que cumple los límites del PRTC origina la distribución de temporización de paquetes y cada nodo de transporte implementa un T-BC.

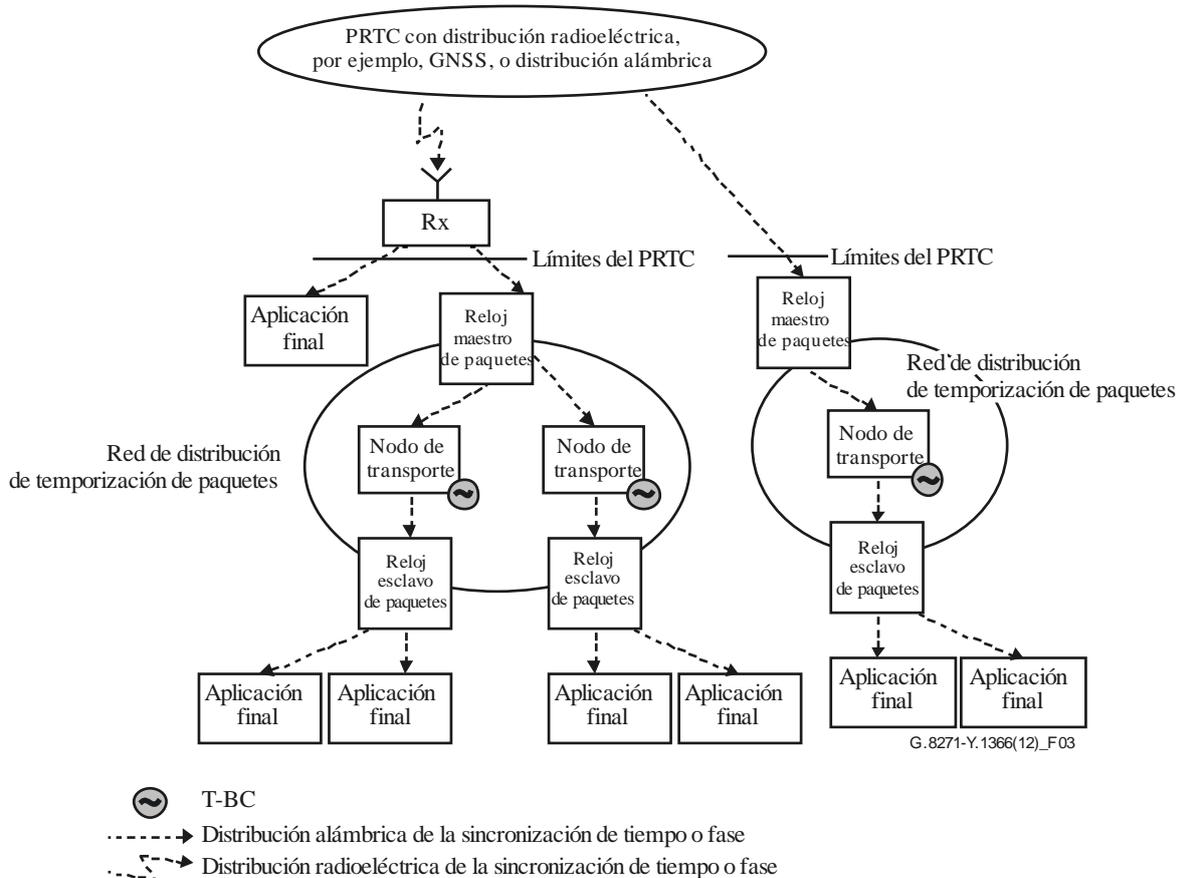


Figura 3 – Ejemplo de distribución de sincronización de tiempo a través de métodos basados en paquetes

Características principales

La principal ventaja de una solución de distribución de sincronización de tiempo a través de métodos basados en paquetes es la notable reducción del número de receptores GNSS. Cabe tener en cuenta que, si el PRTC se basase en un sistema GNSS, se necesitarían receptores GNSS en las ubicaciones de dicho reloj.

Uno de sus inconvenientes radica en que la planificación de la red resulta más compleja (por ejemplo, existe el riesgo de que se produzcan bucles de temporización). Además, hay que considerar la acumulación de ruido. Por último, entre los inconvenientes de este método figura el error de tiempo debido a una serie de asimetrías en la red que han de mantenerse bajo control (lo que implica, por ejemplo, la calibración de las longitudes de la fibra).

8 Modelo de red de referencia

La Figura 4 ilustra el modelo de red de referencia utilizado para definir los objetivos de calidad de funcionamiento de la sincronización de tiempo y fase.

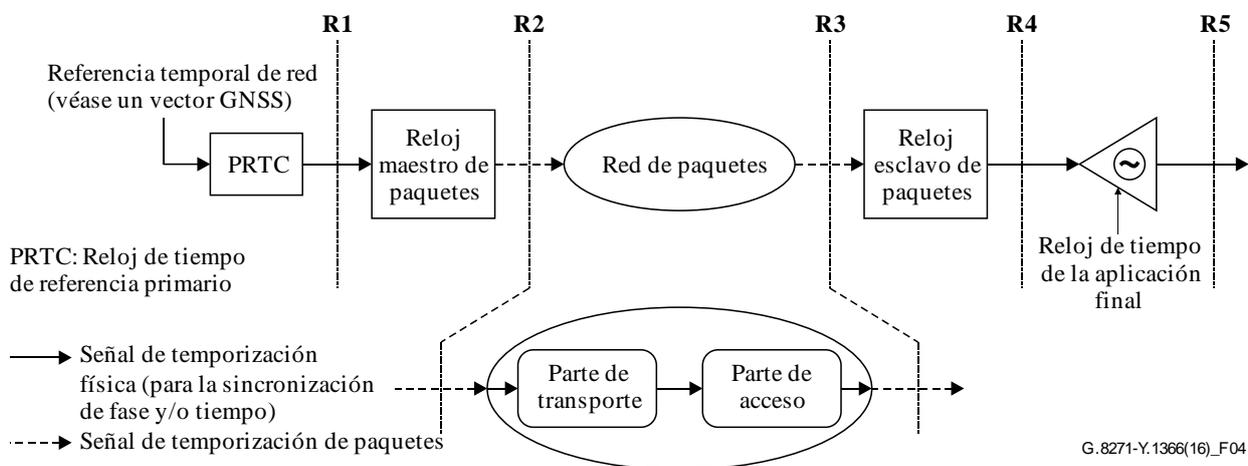


Figura 4 – Modelo de red de referencia

A continuación se define una serie de puntos de referencia. Todos los requisitos conexos vienen definidos con respecto a una referencia de tiempo común, es decir, a cualquier referencia de tiempo reconocida, como pueda ser la hora GPS.

- R1: salida del PRTC
- R2: salida del reloj maestro de paquetes
- R3: entrada del reloj esclavo de paquetes
- R4: salida del reloj esclavo de paquetes
- R5: salida de la aplicación final.

Cabe la posibilidad de que, en algunos casos, el modelo de red de referencia deba abarcar ciertas tecnologías de acceso concretas. Por ejemplo, la red de paquetes entre los puntos R2 y R3 puede estar compuesta en algunos casos por una parte de transporte y una parte de acceso. Entonces, cada parte tendría su propio presupuesto de fase y/o tiempo derivado de los mecanismos de medios específicos que transportan la sincronización de frecuencia y tiempo.

NOTA 1 – En la Figura 4, el reloj maestro de paquetes podría corresponder a un T-GM y el reloj de esclavo de paquetes a un T-TSC (reloj de esclavo de tiempo de telecomunicaciones).

NOTA 2 – Los estudios sobre calidad de funcionamiento en curso parten de la temporización plena de la red con sellado de tiempo por el soporte físico (por ejemplo, T-BC en todos los nodos en el caso de [IEEE 1588]) y con o sin sincronización de frecuencia de la capa física (por ejemplo, soporte de Ethernet síncrono).

NOTA 3 – Cabe la posibilidad de que, en algunos casos, el modelo de red de referencia deba abarcar ciertas tecnologías de acceso concretas. Por ejemplo, la red de paquetes entre los puntos R2 y R3 puede estar compuesta en algunos casos por una parte de transporte y una parte de acceso. Entonces, cada parte tendría su propio presupuesto de fase y/o tiempo. En otros contextos, tales como los de conexión frontal, el segmento de acceso puede situarse en el punto R4, es decir, entre el reloj esclavo de paquetes y la aplicación final. La definición de los modelos de red de referencia que abarcan tecnologías de acceso requiere estudios.

El tema de la sincronización parcial requiere estudios.

El presupuesto general guarda relación con el punto de medición "R5" (a saber, el error de tiempo en R5 con respecto a la referencia común de tiempo).

"R1", "R2", "R3" y "R4" representan otros puntos de medición de referencia pertinentes y los límites de red conexos, que también indican el presupuesto de ruido que puede asignarse a los correspondientes segmentos de red (por ejemplo, "R1 a R3", "R1 a R4", etc.).

Los puntos de medición pueden revestir un interés mayor o menor para una aplicación específica en función del lugar en que se apliquen los límites del dominio administrativo de la red.

Además, según se ha indicado anteriormente, existen casos en que la medición ha de realizarse en una señal de temporización bidireccional, lo que requeriría la utilización de configuraciones y parámetros de prueba específicos.

La configuración de medición vinculada a las señales de temporización bidireccionales y el nivel de ruido que puede añadir el equipo de pruebas de medición requieren estudios.

También cabe la posibilidad de realizar la medición aplicando una referencia de salida de fase y/o tiempo externa específica, tal como una interfaz de 1PPS. El Anexo A a la presente Recomendación contiene orientaciones relativas a ese tipo de interfaz.

8.1 Sección de acceso de un modelo ficticio de referencia con función de interfuncionamiento de acceso nativo/PTP

El modelo de red de referencia general de la Figura 4 puede ampliarse con objeto de ilustrar distintos tipos de tecnologías de acceso que pueden utilizarse en los límites de la red, véanse microondas, líneas de abonado digital (DSL) o redes ópticas pasivas (PON).

En general, las tecnologías de acceso pueden clasificarse en tecnologías compartidas punto a multipunto o tecnologías punto a punto. Un ejemplo de una tecnología de medios compartidos punto a multipunto es una red PON con un único extremo cabecera dotado de numerosos puertos y múltiples dispositivos terminales. Un ejemplo de una tecnología punto a punto es un sistema de microondas. En la Figura 5 se amplía la sección de acceso a fin de mostrar la conversión de medios que se produce entre la tecnología de Ethernet que conforma la sección de transporte del modelo ficticio de sincronización de referencia y las tecnologías de la sección de acceso de dicho modelo. El presupuesto de error de tiempo de esta sección puede depender del tipo específico de tecnología.

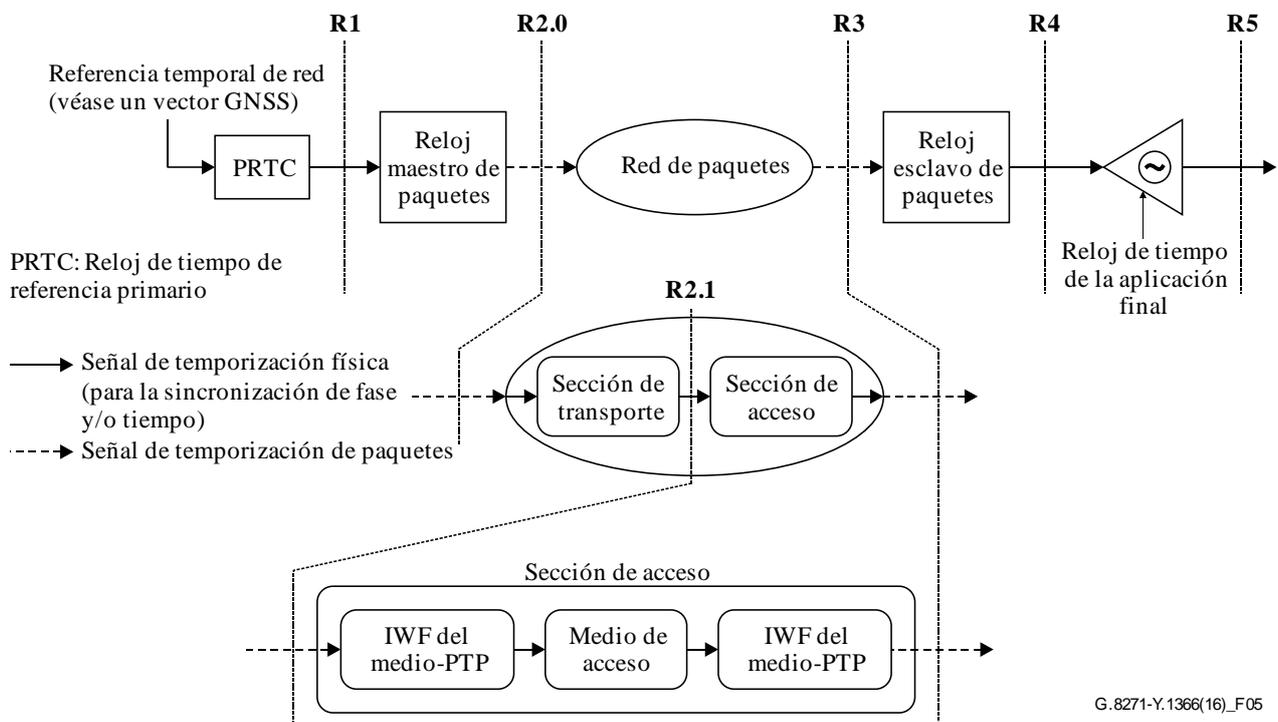


Figura 5 – Modelo de red de referencia con sección de acceso

Por ejemplo, entre los puntos R2.0 y R2.1, la sección de transporte consiste en una cadena de red de [UIT-T G.8271.1] compuesta por relojes T-BC UIT-T G.8273.2 con plena conciencia del tiempo, que utilizan protocolos PTP y SyncE. Entre los puntos R2.1 y R3.0 de la sección de acceso, también pueden existir relojes T-BC conectados a relojes de acceso nativo y desde ellos. Estos relojes de acceso nativo facilitan una conexión directa al medio. En esencia, el T-BC y el reloj de acceso nativo proporcionan una función de interfuncionamiento (IWF) que realiza conversiones entre el Ethernet que transporta el PTP y el medio de acceso.

El error de tiempo de la sección de acceso será una combinación de los componentes constantes y dinámicos del medio, así como una contribución de los relojes en la sección de acceso.

9 Interfaces de sincronización de tiempo y fase

Las interfaces de sincronización de tiempo y fase resultan fundamentales para la consecución de los siguientes objetivos:

1) Interfaz de medición:

Para que los operadores de red puedan medir la calidad de la sincronización de tiempo y/o fase distribuida a lo largo de una cadena de sincronización, cada reloj PRTC, T-GM, T-BC y T-TSC debe contar con su correspondiente interfaz de salida de fase y/o tiempo externa.

Las interfaces de un impulso por segundo (1PPS) son interfaces de medición adecuadas y deben implantarse de acuerdo con una de las interfaces especificadas en el Anexo A. Las interfaces de medición adicionales requieren estudios.

2) Interfaz de distribución:

En ocasiones, se requieren interfaces de sincronización de tiempo y fase para conectar sistemas pertenecientes a una cadena de distribución de sincronización de tiempo y/o fase.

Entre sus aplicaciones típicas figura un reloj T-TSC conectado a una aplicación terminal, tal como una estación base, que está equipada con una interfaz de entrada de 1PPS. Los detalles relativos a las interfaces de distribución requieren estudios.

La Figura 6 ilustra ejemplos de ambos tipos de interfaz de sincronización de tiempo y fase: interfaces de medición (punto de referencia 1) e interfaces de distribución (punto de referencia 2). A estos puntos pueden aplicarse distintos requisitos.

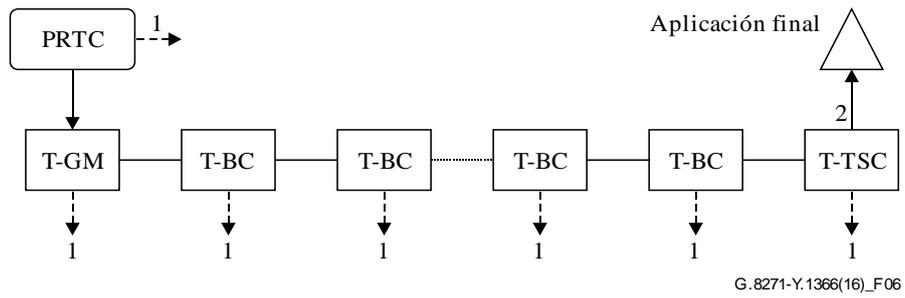


Figura 6 – Posibles ubicaciones de las interfaces de tiempo y fase externas en una cadena de relojes de frontera de telecomunicaciones

Anexo A

Especificación de la interfaz de sincronización de tiempo y fase de un impulso por segundo

(Este anexo forma parte integrante de la presente Recomendación)

A.1 Interfaz UIT-T V.11 de 1PPS

La interfaz de tiempo y/o fase de 1PPS utiliza una interfaz UIT-T V.11 de punto a punto, de conformidad con lo especificado en [UIT-T V.11], junto con un requisito adicional aplicable a los tiempos de subida y/o caída de la señal de 1PPS, según se indica en [UIT-T G.703]. Todo ello resulta necesario a fin de garantizar la precisión requerida para la señal de 1PPS.

Esta interfaz puede utilizarse para la distribución de la sincronización de tiempo, así como para la medición temporal.

Se trata de una interfaz equilibrada que puede tolerar un nivel significativo de ruido en modo común.

La interfaz de 1PPS consta de una señal diferencial equilibrada de 1PPS de 100 ohmios, que permite la conexión al siguiente reloj o al equipo de medición.

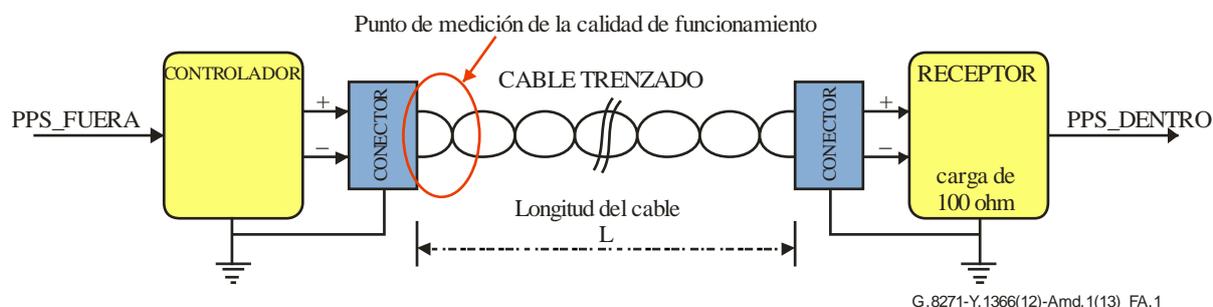


Figura A.1 – Interfaz V.11 equilibrada de 1PPS

A.1.1 Señales de la interfaz

En el presente apartado, las señales de la interfaz en cuestión se definen como sigue:

- 1PPS_FUERA+/1PPS_FUERA-: Este par de señales de salida indica el evento significativo acaecido en el límite anterior de la señal y generado por el maestro de tiempo.
- 1PPS_DENTRO+/1PPS_DENTRO-: Este par de señales de entrada indica el evento significativo acaecido en el límite anterior de la señal y utilizado por el esclavo de tiempo.
- TX+/TX-: El canal de comunicación en serie utiliza este par de señales de salida con miras a la transferencia de mensajes de tiempo y de estado entre el maestro y el esclavo de tiempo.
- RX+/RX-: El canal de comunicación en serie utiliza este par de señales de entrada con miras a la transferencia de mensajes entre el maestro y el esclavo de tiempo.

El conector viene definido en [UIT-T G.703], donde se pormenorizan los aspectos físicos de esta interfaz.

La conexión requiere el uso de un cable cruzado que conecta los pares de señales, según se especifica en el Cuadro A.1.

Cuadro A.1 – Conexiones por cable

Conector A	Conector B
1PPS_FUERA+/1PPS_FUERA-	1PPS_DENTRO+/1PPS_DENTRO-
1PPS_DENTRO+/1PPS_DENTRO-	1PPS_FUERA+/1PPS_FUERA-
TX+/TX-	RX+/RX-
RX+/RX-	TX+/TX-
NOTA – No todas las señales contempladas en el Cuadro A.1 serán necesarias al mismo tiempo (por ejemplo, en algunos casos puede bastar con una dirección). El sentido inverso del canal de mensajería requiere estudios adicionales.	

A.1.2 Compensación automática del retardo del cable (opcional)

La interfaz UIT-T V.11 de 1PPS puede opcionalmente dar soporte a la compensación automática del retardo del cable. Por su parte, la interfaz UIT-T V.11 de 1PPS mejorada puede dar soporte a la compensación automática del cable y del transceptor UIT-T V.11 utilizando un bucle de realimentación que permite al maestro del tiempo medir el retardo de ida y vuelta de la señal de 1PPS y compensar el retardo del trayecto que sobreviene al generar dicha señal.

En primer lugar, el maestro de tiempo genera la señal de 1PPS en el límite de 1 segundo (T1). Al recorrer el cable que conecta con el esclavo de tiempo, esta señal acumula un retardo. La señal 1PPS se devuelve en bucle al esclavo y se envía al maestro de tiempo. El maestro registra el tiempo de recepción de la señal de 1PPS por el esclavo de tiempo (T2) y mide el retardo de ida y vuelta como el tiempo transcurrido desde que se generó la señal en cuestión.

Suponiendo que el trayecto sea simétrico, el maestro de tiempo calcula el retardo medio del cable como $(T2 - T1)/2$ y o bien compensa los retardos del cable haciendo avanzar la señal de 1PPS por el retardo medio del cable, o bien informa al esclavo sobre el retardo medio del cable a través del canal de comunicación en serie UIT-T V.11 para que este último proceda a la compensación.

En la cláusula A.1.3 *infra* se define el protocolo utilizado en el canal de comunicación en serie.

El esclavo de tiempo devuelve en bucle la señal de 1PPS en algún punto posterior al transceptor UIT-T V.11.

A.1.3 Canal de comunicación en serie

A.1.3.1 Características de la transmisión

Las siguientes características se aplican al canal de comunicación en serie:

- 1) La velocidad de modulación predeterminada es 9 600, sin control de paridad.
- 2) Al enviar todos los datos de byte, debe incluirse un bit inicial caracterizado por un nivel de tensión bajo, datos de ocho bits y un bit final caracterizado por un nivel de tensión alto. Durante los intervalos carentes de datos, debe mantenerse un nivel de tensión alto.
- 3) Los datos del mensaje deben enviarse al menos 1ms después del borde ascendente de 1PPS y concluirse en el término de 500 ms.
- 4) El mensaje representa la hora a la que se inicia el 1PPS actual.
- 5) El mensaje debe enviarse una vez por segundo.

A.1.3.2 Estructura del mensaje

La estructura del mensaje se define en la Figura A.2:

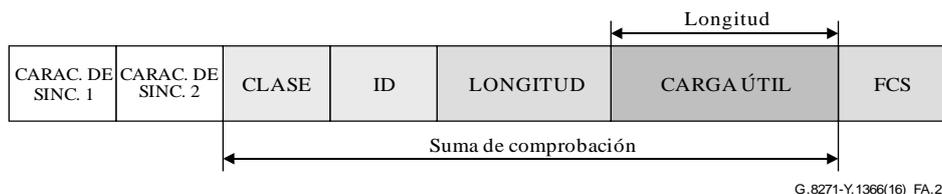


Figura A.2 – Estructura de un mensaje ToD

Cada mensaje constituye un múltiplo de 8 bits (octetos) con secuencia de verificación de la trama (FCS). Estos se identifican mediante los campos CLASE e ID. El orden de transmisión de los octetos en los campos de múltiples octetos debe ajustarse a las normas "Big Endian", es decir, empezando por el octeto más significativo y terminado por el menos significativo. El orden de transmisión de bits dentro de un octeto debe ser del bit 0 al bit 7. La transmisión de la carga útil debería comenzar por el desplazamiento 0 (véanse los Cuadros A.3, A.5 y A.7).

A través del canal de comunicación en serie pueden enviarse diversos mensajes. Estos mensajes se pueden enviar o bien sin retardo o bien con un retardo no nulo entre ellos. Sin embargo, la transmisión de todos los mensajes debe realizarse dentro del plazo de tiempo previsto en la cláusula A.1.3.1.

Los campos del mensaje se interpretan como sigue:

- 1) Inicio del mensaje
El inicio de un mensaje se compone de dos octetos: CARAC. DE SINC. 1 y CARAC. DE SINC. 2 (es decir, los caracteres de sincronización 1 y 2). Ambos octetos se utilizan a efectos de alineamiento. Se ha dado un valor común de 0x43 y 0x4D a los octetos que representan los caracteres ASCII "C" y "M", respectivamente.
- 2) Encabezamiento
El encabezamiento de un mensaje incluye los sub-campos CLASE (1 octeto) e ID de mensaje (1 octeto). CLASE muestra el tipo básico de mensaje, mientras que ID se codifica como el subtipo de clase de mensaje.
- 3) Longitud
El campo relativo a la longitud engloba dos octetos que indican la longitud de la carga útil (excluida la longitud de los campos carac. de sinc. 1, carac. de sinc. 2, encabezamiento, longitud y FCS).
- 4) Carga útil
El campo relativo a la carga útil comprende el contenido del mensaje. La longitud de este campo puede variar en función del tipo de mensaje.
- 5) FCS
La secuencia de verificación de trama (FCS) tiene un octeto. La suma de comprobación abarca los campos relativos al encabezamiento, la longitud y la FCS. El polinomio que permite generar la FCS es $G(x) = x^8 + x^5 + x^4 + 1$. El valor inicial del campo debe establecerse en 0xFF. En este caso, cabe ejecutar una operación de desplazamiento hacia la derecha y evitar la inversión de bits de los valores de entrada y salida. El octeto debe transmitirse en el mismo orden de bits que los demás octetos de datos.

A.1.3.3 Contenido del mensaje

Se han definido tres tipos de mensajes para el canal de comunicación en serie de la interfaz V.11 de 1PPS:

- **Mensaje de evento de tiempo** – sellado de tiempo e información básica de trazabilidad. Este mensaje suele ser transmitido por todos los tipos de reloj que utilizan dicha interfaz.
- **Mensaje de anuncio de tiempo** – mensaje de anuncio de PTP virtual. Este mensaje suele ser transmitido por un reloj PTP.
- **Mensaje de estado del GNSS** – proporciona información sobre el estado de un receptor de temporización GNSS. Este mensaje suele ser transmitido por un reloj basado en el sistema GNSS.

Mensaje de evento de tiempo

Este mensaje se utiliza para transmitir la hora del día a través de una interfaz V.11 de 1PPS.

Cuadro A.2 – Mensaje de evento de tiempo

Nombre	Mensaje de evento de tiempo						
Descripción	Información de evento de tiempo						
Tipo	Emitido cada segundo						
Estructura de la trama	Carac. de sinc. 1	Carac. de sinc. 2	Clase	ID	Longitud	Carga útil	FCS
	0x43	0x4D	0x01	0x01	0x000E	Véase el Cuadro A.3	Véase A.1.3.2

Cuadro A.3 – Carga útil del mensaje de evento de tiempo

Desplazamiento	Longitud (octetos)	Nombre	Notas
0	6	Tiempo	Segundos PTP (número entero de 48 bits sin signos)
6	1	Reservado	Reservado
7	1	Banderas	Bit 0: leap61 – segundo intercalar positivo pendiente Bit 1: leap59 – segundo intercalar negativo pendiente Bit 2: Desplazamiento UTC válido Bit 3: Reservado Bit 4: timeTraceable – tiempo trazable hasta un patrón de tiempo primario Bit 5: frequencyTraceable – frecuencia trazable hasta un patrón de frecuencia primario Bits 6 y 7: Reservados
8	2	currentUTCOffset	Valor actual del desplazamiento entre TAI y UTC (es decir, TAI – UTC)
10	4	Reservado	Reservado

Mensaje de anuncio de tiempo

Este mensaje se utiliza para transmitir la calidad y la trazabilidad del tiempo a través de la interfaz V.11 de 1PPS del equipo que contiene el reloj PTP.

La utilización de este mensaje en una interfaz de salida de un reloj PRTC requiere estudios adicionales, a menos que el equipo que contiene el PRTC también contenga un reloj T-GM.

Los campos de este mensaje son copias directas de los campos con nombre equivalente del mensaje de anuncio de PTP, según se describe en [IEEE 1588]. El reloj PTP que recibe la información relativa a la hora del día (ToD) puede tratar dicha información como si hubiera sido recibida en un puerto PTP virtual, de acuerdo con el perfil PTP correspondiente (por ejemplo, [UIT-T G.8275.1]).

Cuadro A.4 – Mensaje de anuncio de tiempo

Nombre	Mensaje de anuncio de tiempo						
Descripción	Proporciona información sobre la calidad y la trazabilidad del generador de tiempos, equivalente a la de un mensaje de anuncio PTP						
Tipo	Emitido cada segundo						
Estructura de la trama	Carac. de sinc. 1	Carac. de sinc. 2	Clase	ID	Longitud	Carga útil	FCS
	0x43	0x4D	0x01	0x02	0x0020	Véase el Cuadro A.5	Véase A.1.3.2

Cuadro A.5 – Carga útil del mensaje de anuncio de tiempo

Desplazamiento	Longitud (octetos)	Nombre	Notas
0	1	versionPTP	Número de versión PTP
1	1	domainNumber	Número de dominio PTP
2	2	flagField	Campo de bandera PTP (véase la Nota)
4	8	sourcePortIdentity.clockIdentity	Identidad del reloj de envío
12	2	sourcePortIdentity.portNumber	Número de puerto del puerto PTP virtual de envío
14	1	grandmasterPriority1	Valor de Prioridad 1 del maestro principal PTP
15	1	grandmasterPriority2	Valor Prioridad 2 del maestro principal PTP
16	1	grandmasterClockQuality.clockClass	Clase de reloj del maestro principal PTP
17	1	grandmasterClockQuality.clockAccuracy	Precisión de reloj del maestro principal PTP
18	2	grandmasterClockQuality.offsetScaledLogVariance	Variación de registro a escala de desplazamiento del maestro principal PTP
20	8	grandmasterClockIdentity	Identidad del reloj maestro principal PTP
28	2	stepsRemoved	Etapas suprimidas del maestro principal PTP
30	1	timeSource	Tipo de generador de tiempos proporcionado por el maestro principal PTP
31	1	Reservado	Reservado

NOTA – Copiado directamente del campo de bandera del segmento de encabezamiento del mensaje de anuncio PTP, incluso aunque algunas banderas carezcan de relevancia.

Mensaje de estado del GNSS

Este mensaje se utiliza con objeto de transmitir el estado o las alarmas de los receptores GNSS a través de la interfaz V.11 de 1PPS de un PRTC. Los relojes PTP no suelen producir este tipo de mensaje, a menos que estén contenidos en el mismo equipo que el receptor de temporización GNSS.

Cuadro A.6 – Mensaje de estado del GNSS

Nombre	Mensaje de estado del GNSS						
Descripción	Estado actual del receptor de temporización GNSS						
Tipo	Emitido cada segundo						
Estructura de la trama	Carac. de sinc. 1	Carac. de sinc. 2	Clase	ID	Longitud	Carga útil	FCS
	0x43	0x4D	0x01	0x03	0x0008	Véase el Cuadro A.7	Véase A.1.3.2

Cuadro A.7 – Carga útil del mensaje de estado del GNSS

Desplazamiento	Longitud (octetos)	Nombre	Notas
0	1	Tipo de generador de tiempos	0x00: Beidou (Compass) 0x01: GPS 0x02: PTP 0x03: Galileo 0x04: Glonass 0x05: QZSS 0x06: IRNSS 0x07: GNSS (Combinación de constelaciones) 0x08: Desconocido (si se carece de información sobre qué escala de tiempo GNSS está siendo utilizada y de opciones para obligar al módulo a trabajar con una escala de tiempo GNSS específica) 0x09 ~ 0xFF: Reservado
1	1	Estado del generador de tiempos	GNSS de tipo fijo: 0x00: no fijo 0x01: determinación de la posición por proximidad únicamente 0x02: 2D-fijo 0x03: 3D-fijo 0x04: combinación de GNSS + determinación de la posición por proximidad 0x05: tiempo únicamente fijo 0x06: A-GNSS 0x07: GNSS + SBAS 0x08: GNSS + GBAS 0x09 ~ 0xFF: reservado

Cuadro A.7 – Carga útil del mensaje de estado del GNSS

Desplazamiento	Longitud (octetos)	Nombre	Notas
3	2	Seguimiento del estado de alarma	Estado de alarma del generador de tiempos: Bit 0: sin utilizar Bit 1: antena abierta Bit 2: antena cortocircuitada Bit 3: sin satélites de seguimiento Bit 4: sin utilizar Bit 5: estudio en curso Bit 6: ninguna posición almacenada Bit 7: segundo intercalar pendiente Bit 8: en modo de pruebas Bit 9: la solución GNSS (es decir, la posición y el tiempo derivados) es incierta Bit 10: sin utilizar Bit 11: almanaque incompleto Bit 12: se han generado PPS Bit 13 ~ Bit 15: Reservado
4	4	Reservado	Reservado

A.2 Interfaz de medición de sincronización de fase de 1PPS y 50 Ω

La interfaz de 1PPS consiste en una señal de 1PPS y 50 ohmios desequilibrada que puede emplearse con miras a la conexión a equipos de medición (véase la Figura A.3).

Las características físicas de esta interfaz vienen definidas en [UIT-T G.703].

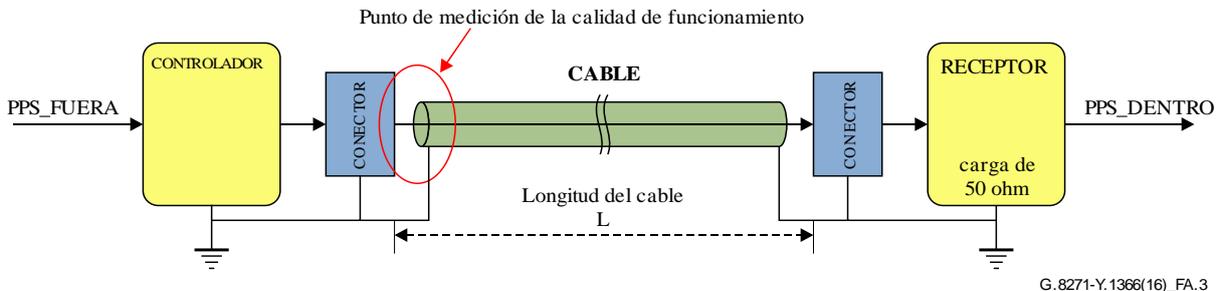


Figura A.3 – Interfaz de medición de 1PPS y 50 Ω desequilibrada

El sistema debe compensar sus retardos internos a fin de garantizar que la temporización de la señal de 1PPS se cumpla en el margen del recuadro.

Cabe esperar que el equipo de medición compense los retardos asociados a la interconexión de la interfaz de 1PPS.

Apéndice I

Generadores de tiempo y ruido de fase en cadenas de distribución de tiempo

(Este apéndice no forma parte integrante de la presente Recomendación.)

La cuantificación de las fuentes de errores existentes en las cadenas de distribución de tiempo desempeña un papel fundamental en el proceso de definición del presupuesto de ruido del modelo de red de referencia.

Las fuentes de errores enumeradas en el presente apéndice se basan en una red con temporización plena proporcionada por relojes de frontera de telecomunicaciones (T-BC).

En caso de no contar con la temporización en algunos nodos (o en todos ellos), convendría sopesar fuentes adicionales de ruido. Ese tema requiere ulteriores estudios.

Las fuentes de ruido fruto de la temporización proporcionada por los relojes transparentes de telecomunicaciones (T-TC) también requieren ulteriores estudios.

I.1 Ruido introducido por un reloj de tiempo de referencia primario (PRTC)

El siguiente cuadro recoge una fuente de error propia de un PRTC.

	Fuente de error	Explicación/Hipótesis
1	Error de tiempo de referencia	Véase la cláusula I.7.1

I.2 Ruido introducido por una función de reloj maestro de paquetes

El siguiente cuadro recoge una fuente de error propia de una función de reloj maestro de paquetes. Dicha función puede formar parte de un maestro principal de telecomunicaciones (T-GM) o de un reloj T-BC.

	Fuente de error	Explicación/Hipótesis
1	Asimetría de latencia del protocolo de capa física (PHY) interna a los nodos	Véase la cláusula I.7.2

I.3 Ruido introducido por una función de reloj esclavo de paquetes

El siguiente cuadro recoge diversas fuentes de error propias de una función de reloj esclavo de paquetes. Dicha función puede formar parte de un reloj de esclavo de tiempo de telecomunicaciones (T-TSC) o de un reloj T-BC.

	Fuente de error	Explicación/Hipótesis
1	Ruido de fase del oscilador local	Véase la cláusula I.7.4
2	Asimetría de latencia de PHY interna a los nodos	Véase la cláusula I.7.2
3	Granularidad de sellado de tiempo	Véase la cláusula I.7.3
4	Error de fase de referencia de frecuencia	Véase la cláusula I.7.5
5	Transitorios de tiempo	Véase la cláusula I.7.6

I.4 Ruido introducido por un reloj transparente de telecomunicaciones

Las fuentes de error propias de un reloj transparente de telecomunicaciones requieren ulteriores estudios.

I.5 Ruido introducido por un enlace

El siguiente cuadro recoge una fuente de error propia de un enlace.

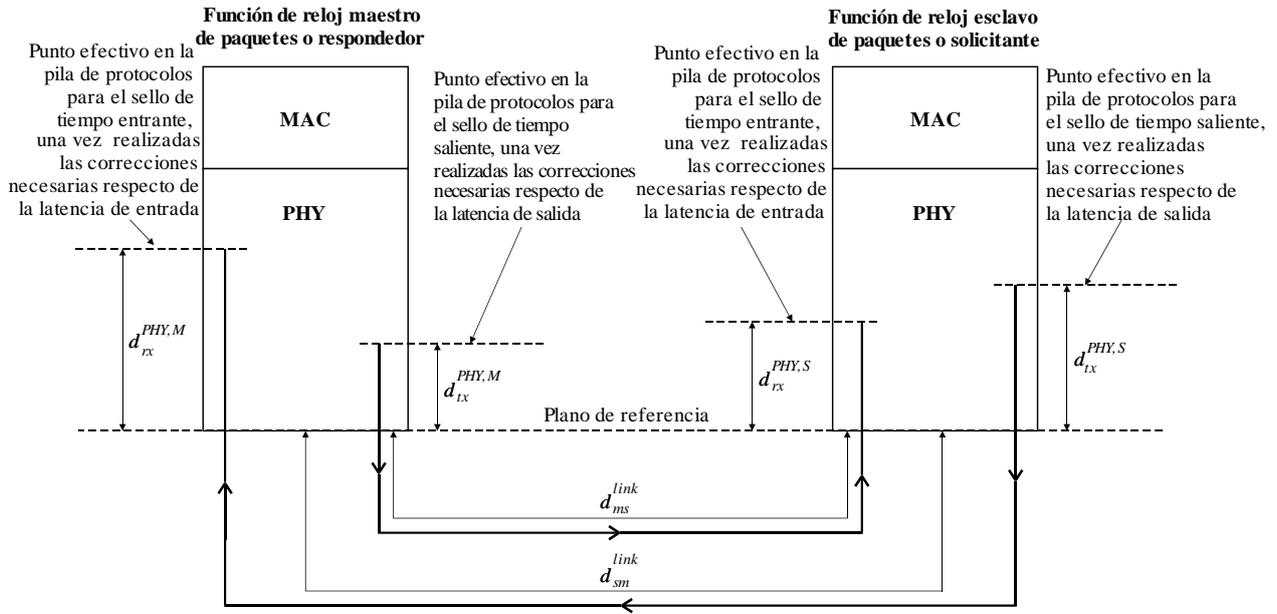
	Fuente de error	Explicación/Hipótesis
1	Asimetría del enlace	Véase la cláusula I.7.7

I.6 Derivación de la asimetría del retardo

La Figura I.1 ilustra los retardos entre una función de reloj esclavo de paquetes o solicitante (en adelante, esclavo) y una función de reloj maestro de paquetes o respondedor (en adelante, maestro). El retardo de propagación medio se mide en el esclavo una vez intercambiados los mensajes de evento. Si se utilizan los mecanismos de *delay request* (petición de retardo) y *delay response* (respuesta de retardo) (véase [IEEE 1588]), el esclavo envía Delay_Req y el maestro envía Delay_Resp y, por separado, Sync (sincronización) y Follow_Up (seguimiento) (es decir, el envío de los dos últimos elementos no forma parte del intercambio Delay_Req/Delay_Resp; el mensaje Follow_Up se envía únicamente si el reloj es de dos pasos). Si se utiliza el mecanismo de *peer delay* (retardo de par) (véase [IEEE 1588]), el esclavo envía Pdelay_Req y el master envía Pdelay_Resp y, si el reloj es de dos pasos, Pdelay_Resp_Follow_Up.

La figura muestra los puntos efectivos en la pila de protocolos de cada reloj en los que se generan sellos de tiempo, una vez realizadas las correcciones necesarias respecto de las latencias de entrada y salida (véase el sección 7.3.4 y la Figura 19 de [IEEE 1588]). Lo ideal sería que estos puntos se hallasen en el plano de referencia, es decir, el punto límite entre PHY y el medio físico de la red. Sin embargo, en la práctica, las correcciones aplicables a las latencias de entrada y salida no son perfectas y los puntos efectivos en los que se generan los sellos de tiempo difieren de los del plano de referencia. Los retardos entre los puntos efectivos donde se toman los sellos de tiempo y el plano de referencia se expresan como $d_{tx}^{PHY,M}$ y $d_{rx}^{PHY,M}$ para la salida y la entrada en el maestro, respectivamente, y como $d_{tx}^{PHY,S}$ y $d_{rx}^{PHY,S}$ para la salida y la entrada en el esclavo, respectivamente. En esta representación, el subíndice *t* (transmitir) se utiliza para la salida y el subíndice *r* (recibir) para la entrada. En general, las cuatro cantidades pueden ser diferentes.

La figura también ilustra los retardos del enlace, que se miden desde el plano de referencia de un reloj al plano de referencia del otro reloj. El retardo del maestro al esclavo se expresa como d_{ms}^{link} , y el retardo del esclavo al maestro como d_{sm}^{link} .



G.8271-Y.1366(12)-Amd.2(15) FI.1

Figura I.1 – Ilustración de los retardos entre una función de reloj esclavo de paquetes o solicitante y una función de reloj maestro de paquetes o respondedor

El retardo total desde el maestro hasta el esclavo, t_{ms} , es la suma de los retardos acaecidos en esa dirección:

$$t_{ms} = d_{tx}^{PHY,M} + d_{ms}^{link} + d_{rx}^{PHY,S} \quad (I-1)$$

Del mismo modo, el retardo total desde el esclavo hasta el maestro, t_{sm} , es la suma de los retardos acaecidos en esa dirección:

$$t_{sm} = d_{tx}^{PHY,S} + d_{sm}^{link} + d_{rx}^{PHY,M} \quad (I-2)$$

En cuanto a la convención de signos relacionada con la asimetría del retardo, se adopta la misma que en el sección 7.4.2 de [IEEE 1588]. D_{mean} expresa el retardo medido del trayecto (es decir, el resultado medido del intercambio de los mensajes Delay_Req y Delay_Resp o Peer Delay), y D_{asym} expresa la asimetría total del retardo. Por consiguiente, D_{asym} se define como positivo cuando el retardo desde el maestro hasta el esclavo es mayor que el retardo desde el esclavo hasta el maestro. En cambio, D_{asym} se define como negativo cuando el retardo desde el maestro hasta el esclavo es menor que el retardo desde el esclavo hasta el maestro. Así pues:

$$\begin{aligned} t_{ms} &= D_{mean} + D_{asym} \\ t_{sm} &= D_{mean} - D_{asym} \end{aligned} \quad (I-3)$$

Las ecuaciones (I-3) implican que:

$$D_{mean} = \frac{t_{ms} + t_{sm}}{2} \quad (I-4)$$

según proceda. Al introducir las ecuaciones (I-1) y (I-2) en la ecuación (I-4) se obtiene:

$$D_{mean} = \frac{(d_{tx}^{PHY,M} + d_{ms}^{link} + d_{rx}^{PHY,S}) + (d_{tx}^{PHY,S} + d_{sm}^{link} + d_{rx}^{PHY,M})}{2} \quad (I-5)$$

Cualquiera de las dos ecuaciones (I-3) puede utilizarse con la ecuación (I-4) para obtener la asimetría del retardo en términos de retardos de componentes. Al utilizar la primera ecuación (I-3) se obtiene:

$$\begin{aligned}
D_{asym} &= t_{ms} - D_{mean} \\
&= (d_{tx}^{PHY,M} + d_{ms}^{link} + d_{rx}^{PHY,S}) - \frac{(d_{tx}^{PHY,M} + d_{ms}^{link} + d_{rx}^{PHY,S}) + (d_{tx}^{PHY,S} + d_{sm}^{link} + d_{rx}^{PHY,M})}{2} \\
&= \frac{d_{tx}^{PHY,M} - d_{rx}^{PHY,M}}{2} + \frac{d_{ms}^{link} - d_{sm}^{link}}{2} + \frac{d_{rx}^{PHY,S} - d_{tx}^{PHY,S}}{2} \\
&= e_{phy}^M + e_{link-asym} - e_{phy}^S
\end{aligned} \tag{I-6}$$

siendo:

$$e_{phy}^M = \frac{d_{tx}^{PHY,M} - d_{rx}^{PHY,M}}{2} \tag{I-7}$$

$$e_{link-asym} = \frac{d_{ms}^{link} - d_{sm}^{link}}{2} \tag{I-8}$$

$$e_{phy}^S = \frac{d_{tx}^{PHY,S} - d_{rx}^{PHY,S}}{2} \tag{I-9}$$

Las ecuaciones (I-7) y (I-9) muestran los errores debidos a la asimetría de la latencia de PHY en el maestro y el esclavo, respectivamente. La ecuación (I-8) muestra el error debido a la asimetría del enlace. La ecuación (I-6) indica que, al calcular la asimetría total, se suman los errores debidos a la latencia de PHY en el maestro y al enlace, y se resta el error debido a la latencia de PHY en el esclavo.

I.7 Características de las fuentes de ruido

Todas las fuentes de ruido identificadas *supra* presentan características distintas en términos de modelización y acumulación. Por ejemplo, el ruido debido al T-BC en cascada podría analizarse de acuerdo con el enfoque que el UIT-T aplica normalmente a las cadenas de relojes.

En los siguientes apartados se analizan las fuentes de ruido enumeradas en el cuadro anterior.

I.7.1 Error de tiempo de referencia

La función de reloj maestro de paquetes del T-GM recibe una señal de tiempo de referencia con miras a su distribución. El error puede atribuirse a:

Error de tiempo del GNSS. Los esquemas de distribución que utilizan distintos sistemas GNSS (por ejemplo, GPS y el futuro sistema Galileo) podrían conllevar un error de tiempo inherente debido a la diferencia entre los conjuntos de relojes atómicos que los impulsan.

Limitaciones de la implantación del GNSS. Un receptor GNSS puede producir una señal de tiempo con un desplazamiento provocado por otro receptor GNSS que utiliza el mismo sistema de satélites.

Esta fuente de ruido es aplicable únicamente a los PRTC.

La forma en que se modeliza la fuente de ruido, e_{ref} , requiere estudios.

I.7.2 Variación de latencia y asimetría de la capa física

Esta fuente de ruido está relacionada con la función de sellado de tiempo por el soporte físico, es decir, con la diferencia entre el punto de medición del sello de tiempo y la interfaz con el medio (por ejemplo, 802.3bf expresa los valores mínimo y máximo de transmisión y recepción posibles para

cada PHY que soporta 802.3bf). Una implantación adecuada suele llevarse a cabo en un intervalo de nanosegundos. La asimetría de la latencia de PHY se expresa como $(d_{tx} - d_{rx})/2$, siendo d_{tx} el retardo correspondiente al trayecto de transmisión y d_{rx} el retardo correspondiente al trayecto de recepción, tal y como se indica en la cláusula I.6 y la Figura I.1.

Esta fuente de ruido es aplicable a la función de reloj maestro de paquetes (en un reloj T-GM o T-BC) y a la función de reloj de esclavo de paquetes (en un reloj T-BC o T-TSC).

La forma en que se modeliza la fuente de ruido, e_{phy} , requiere estudios.

I.7.3 Granularidad del sellado de tiempo

La granularidad del sellado de tiempo depende de la velocidad del reloj de sellado de tiempo. La extensión del error de granularidad de sellado de tiempo está limitado por $T_{ts,rx}$, es decir, el incremento en el contador de sello de tiempo en el receptor:

$$0 \leq e_{ts} < T_{ts,rx} \quad (I-10)$$

Si la velocidad del reloj de sellado de tiempo en el receptor es un múltiplo/submúltiplo entero de la velocidad en el emisor, el efecto pulsatorio se hace visible y el error e_{ts} es casi estático y no puede ser reducido por el filtrado de paso bajo inherente a los bucles de enganche de fase. Si las velocidades son relativamente primas, el error e_{ts} es aleatorizado y está correctamente modelado como ruido blanco (espectro plano).

Esta fuente de ruido es aplicable a las mediciones de tiempo de llegada al maestro y al esclavo de paquetes. El mismo modelo puede aplicarse a las mediciones de tiempo de salida.

I.7.4 Ruido de fase del oscilador local

La función de reloj de esclavo de paquetes utiliza los datos de temporización del maestro como referencia para filtrar su ruido de fase de referencia local, a fin de producir el mínimo error de tiempo posible. Cuanto mejor es el oscilador local, menos ruido produce. No todo el ruido de fase puede filtrarse.

Esta fuente de ruido es aplicable a la función de reloj de esclavo de paquetes (en un reloj T-BC o T-TSC) cuando la frecuencia se recupera de los mensajes PTP (es decir, cuando se carece de un soporte de sincronización de frecuencia de capa física).

La forma en que se modeliza la fuente de ruido, e_{ϕ} , requiere estudios.

I.7.5 Error de fase de referencia de frecuencia

La función de reloj de esclavo de paquetes (en un reloj T-BC o T-TSC) puede utilizar una referencia de frecuencia externa en lugar de su oscilador local para facilitar la recuperación de tiempo. La referencia de frecuencia presentará mejores características de temporización que el oscilador local, pero no será perfecta.

Esta fuente de ruido es aplicable al reloj esclavo de paquetes.

Esta fuente de ruido, e_{syncE} , viene definida por los límites de red en la cláusula 9.2 de [UIT-T G.8261]. La forma en que se modeliza esta fuente de ruido requiere estudios.

I.7.6 Transitorios de tiempo

Las conmutaciones de referencia o interrupciones cortas pueden causar transitorios de tiempo. Un fallo en el maestro principal o en un enlace puede propiciar una reorganización de la red. Durante ese periodo, puede acumularse un error de tiempo debido a algún tipo de funcionalidad en régimen libre.

Esta fuente de ruido es aplicable al reloj esclavo de paquetes.

La forma en que se modeliza la fuente de ruido, $e_{transient}$, requiere estudios.

I.7.7 Asimetría del enlace

Los protocolos de temporización de paquetes (véanse el protocolo de tiempo de red y el protocolo de tiempo de precisión (PTP)) miden el retardo de ida y vuelta de la red, es decir, el retardo acumulado desde el servidor hasta el cliente y viceversa. En ese sentido, el retraso unidireccional se estima aplicando la hipótesis de que los retardos directo e inverso de la red son equivalentes. Toda diferencia entre el retardo directo e inverso (conocida como asimetría del retardo) genera un error en la estimación del desplazamiento del reloj del cliente desde el servidor.

El recurso a la plena temporización (por ejemplo, con relojes T-BC o T-TC en los nodos) puede eliminar la asimetría del retardo fruto de la variación del retardo de paquetes (PDV), así como de la diferencia en la carga de tráfico en ambas direcciones y la asimetría causada por los paquetes que han tomado rutas diferentes en cada dirección (en este caso, un reloj transparente de extremo a extremo no resolvería el problema). Sin embargo, no puede corregir la asimetría del retardo en enlaces punto a punto entre elementos de red. Dicha asimetría se debe a que los trayectos directo e inverso recorren diferentes fibras o pares de cobre en el mismo cable. La longitud y las características eléctricas u ópticas de estas fibras o pares pueden diferir, pero bastan para crear diferencias de retardo.

La asimetría del retardo creada por enlaces de fibra puede ser de varios nanosegundos por metro de diferencia en cada dirección. Cuando se aplica a múltiples enlaces de fibra, la magnitud de este error puede llegar a ser significativa si se compara con los estrictos niveles de tolerancia de algunas de las aplicaciones objeto de estudio.

La asimetría del enlace se expresa como $(d_{ms} - d_{sm})/2$, siendo d_{ms} el retardo en el trayecto desde el reloj maestro o respondedor hasta el reloj esclavo o solicitante, y d_{sm} el retardo en el trayecto desde el reloj esclavo o solicitante hasta el reloj maestro o respondedor, según se indica en la cláusula I.6 y la Figura I.1.

Esta fuente de ruido es aplicable a los enlaces.

La forma en que se modeliza la fuente de ruido, $e_{link-asym}$, requiere ulteriores estudios.

I.7.8 Error en la distribución del tiempo dentro de un nodo

Este error se debe a los diversos retardos internos que se producen al distribuir una referencia de tiempo desde una ubicación centralizada en un nodo (véase una tarjeta de sistema) a otras ubicaciones en un nodo (véase una tarjeta de línea). Este error puede atribuirse, por ejemplo, a la longitud de los trazos, conectores y otras funciones lógicas del plano anterior.

NOTA – Estos retardos pueden ser significativos y requerir mecanismos de diseño y compensación adecuados.

Esta fuente de ruido se expresa como $e_{intranode}$ y requiere ulteriores estudios. Esta fuente de ruido es aplicable a los relojes T-GM, T-BC y T-TSC.

I.8 Acumulación de errores de tiempo en una cadena de relojes

El error de tiempo total puede considerarse como la suma de un componente de error de tiempo constante y un componente de error de tiempo dinámico.

NOTA – Se presume que los componentes de desplazamiento y deriva de frecuencia no están presentes; por consiguiente, el error de tiempo dinámico sólo abarca componentes aleatorios.

Estos dos componentes presentan distintas características en términos de modelación y acumulación. Para obtener más información al respecto, véase el Apéndice IV de [b-UIT-T G.8271.1].

Apéndice II

Requisitos de sincronización de tiempo y fase en aplicaciones finales

(Este apéndice no forma parte integrante de la presente Recomendación.)

En el siguiente cuadro se resumen los principales requisitos aplicables a la salida de la aplicación (por ejemplo, a la interfaz radioeléctrica en el caso de las aplicaciones inalámbricas).

Cuadro II.1 – Requisitos de tiempo y fase en aplicaciones finales

Aplicación/ Tecnología	Precisión	Especificación
CDMA2000	<p>$\pm 3 \mu\text{s}$ con respecto al tiempo del sistema CDMA, que utiliza una escala de tiempo GPS (trazable y síncrona con el tiempo UTC, excepto para las correcciones de segundo intercalar)</p> <p>$\pm 10 \mu\text{s}$ con respecto al tiempo del sistema CDMA durante un periodo de al menos 8 horas (cuando la fuente externa del tiempo del sistema CDMA está desconectada)</p>	<p>[b-3GPP2 C.S0002] sección 1.3</p> <p>[b-3GPP2 C.S0010] sección 4.2.1.1</p>
TD-SCDMA (modo TDD NodoB)	3 μs de desviación máxima en los tiempos de inicio de la trama entre cualquier par de células de la misma frecuencia con zonas de cobertura superpuestas	[b-3GPP TS 25.123] sección 7.2
WCDMA-TDD (modo TDD NodoB)	En el modo TDD, para dar soporte a la sincronización Intercell y Handoff, se necesita una referencia de temporización común entre el NodoB, y la diferencia de fase relativa de las señales de sincronización en el puerto de entrada de cualquier NodoB en la zona sincronizada no excederá de 2,5 μs	[b-3GPP TS 25.402] apartados 6.1.2 y 6.1.2.1
W-CDMA MBSFN	12,8 μs para MBMS por una red monofrecuencia, donde la transmisión del NodoB está perfectamente sincronizada con un tiempo de referencia común	[b-3GPP TS 25.346] apartados 7.1A y 7.1B.2.1
LTE MBSFN	Se han evocado valores de $\leq \pm 1 \mu\text{s}$ con respecto a una referencia de tiempo común (escala de tiempo continua)	Objeto de estudio
W-CDMA (modo TDD NodoB residencial)	Nivel de precisión de microsegundos (no se han especificado requisitos complejos)	[b-3GPP TR 25.866] sección 8
WiMAX	<p>1) Las tramas de enlace descendente transmitidas por la estación base de servicio y la estación base vecina se sincronizarán a un nivel de al menos 1/8 de la longitud del prefijo cíclico (<i>equivalente a 1,428 μs</i>)</p> <p>En la estación base, la trama radioeléctrica transmitida se alineará en el tiempo con el impulso de temporización de 1PPS</p> <p>2) La temporización de transmisión de referencia de la estación base se alineará en el tiempo con el impulso de 1PPS y con una precisión de $\pm 1 \mu\text{s}$</p>	<p>[b-IEEE 802.16] Cuadro 6-160, sección 8.4.13.4</p> <p>[b-WMF T23-001] sección 4.2.2</p>

Cuadro II.1 – Requisitos de tiempo y fase en aplicaciones finales

Aplicación/ Tecnología	Precisión	Especificación
LTE-TDD (estación base de zona amplia)	3 μ s para células pequeñas (<3 km de radio) 10 μ s para células grandes (>3 km de radio) Desviación máxima absoluta en la temporización de inicio de la trama entre cualquier par de células de la misma frecuencia con zonas de cobertura superpuestas	[b-3GPP TS 36.133] sección 7.4.2
LTE-TDD (estación base de zona residencial)	1) 3 μ s para células pequeñas (< 500 m de radio). Para celdas grandes (> 500 m de radio), se aplica una diferencia de tiempo de $1,33 + T_{propagation}$ μ s entre estaciones base, siendo $T_{propagation}$ el retardo de propagación entre la estación base residencial y la célula seleccionada como fuente de sincronización de escucha de red. En cuanto a la selección de dicha fuente, cabe optar por la fuente de sincronización más precisa para el sistema GNSS. Si la estación base residencial logra la sincronización sin recurrir a la escucha de red, se aplica el requisito vinculado a las células pequeñas 2) El requisito es de 3,475 μ s, pero en muchos casos puede adoptarse un requisito de sincronización de 3 μ s	[b-3GPP TS 36.133] sección 7.4.2 [b-3GPP TR 36.922] sección 6.4.1.2
LTE-TDD para CDMA 1xRTT y trasposos de HRPD	El eNodoB se sincronizará con el tiempo GPS. Con la fuente externa del tiempo del sistema CDMA desconectada, el eNodoB mantendrá la precisión de temporización en un intervalo de ± 10 μ s con respecto al tiempo del sistema CDMA por un periodo de al menos 8 horas	[b-TS 3GPP TS 36.133] sección 7.5.2.1
LTE-A	Los requisitos de fase y/o tiempo para las aplicaciones enumeradas <i>infra</i> son objeto de estudio: • Agregación de portadoras • Transmisión multipunto coordinada (también conocida como Red-MIMO) • Función de retransmisión	[b-TR 3GPP TS 36.814]
Seguimiento del retardo de la red IP	El requisito depende del nivel de calidad que cabe supervisar. Por ejemplo, pueden requerirse ± 100 μ s con respecto a una referencia de tiempo común (por ejemplo, UTC). También se ha evocado la opción de ± 1 ms	NOTA – Aún no existe un requisito normalizado. Los requisitos dependen del operador (en función de la aplicación)
Facturación y alarmas	± 100 ms con respecto a una referencia de tiempo común (por ejemplo, UTC)	
<p>NOTA 1 – En el caso de las aplicaciones móviles, los requisitos suelen expresarse en términos de error de fase entre estaciones base. En el caso de un maestro centralizado, el requisito podría expresarse como \pm la mitad del requisito de precisión aplicable a la tecnología específica.</p> <p>NOTA 2 – Los requisitos suelen ser válidos en condiciones normales. Los requisitos aplicables en condiciones de fallo requieren estudios.</p>		

Cuadro II.2 – Otros requisitos de tiempo y fase

Aplicaciones típicas (a título informativo)	Requisitos de error de tiempo (Nota 1)	Especificación
Agregación de portadoras no contiguas dentro de banda con o sin diversidad de TX o MIMO, y agregación de portadoras dentro de banda con o sin diversidad de TX o MIMO	260 ns	[b-3GPP TS 36.104] sección 6.5.3.1
Agregación de portadoras contiguas dentro de banda, con o sin diversidad de TX o MIMO	130 ns	[b-3GPP TS 36.104] sección 6.5.3.1
Servicios basados en la localización utilizando un registro OTDOA (Nota 3)	100 ns	
Transmisiones con diversidad de TX o MIMO en cada frecuencia portadora	65 ns	[b-3GPP TS 36.104] sección 6.5.3.1
Más características emergentes de LTE-A que requieren la cooperación de múltiples antenas dentro de una agrupación	x ns (Nota 2)	
<p>NOTA 1 – El requisito se expresa en términos de error relativo con respecto a otra estación base, teniendo ambas la misma referencia.</p> <p>NOTA 2 – Los requisitos de calidad de funcionamiento de las características LTE-A son objeto de estudio. El valor de x requiere estudios.</p> <p>NOTA 3 – Cuando se utiliza un registro OTDOA con un mínimo de tres estaciones base, 100 ns permiten una precisión en la localización de aproximadamente 30-40 m.</p> <p>NOTA 4 – Los requisitos se expresan en términos de error relativo entre antenas (es decir, sectores de estaciones base), teniendo ambas la misma referencia de temporización. Aunque los requisitos de precisión de fase y tiempo para CA y CoMP son genéricos y no han sido definidos para ninguna topología de red en concreto, un presupuesto de error de fase de esa índole implica que las antenas a las que se aplican los requisitos suelen estar coubicadas con la misma BBU o conectadas con ella a través de enlaces directos.</p>		

Entre otras categorías de aplicaciones que requieren una sincronización precisa de tiempo y fase figuran la comunicación de máquina a máquina (M2M) y la Internet industrial (por ejemplo, transporte y vehículos conectados, redes eléctricas inteligentes, comercio financiero, sistemas médicos y de atención sanitaria a distancia, mecanismos de vigilancia mejorados con fines de seguridad, etc.). Los requisitos de sincronización reales dependen de la aplicación específica y requieren estudios.

Apéndice III

Compensación de la asimetría debida a la utilización de distintas longitudes de onda

(Este apéndice no forma parte integrante de la presente Recomendación.)

La compensación de la asimetría debida a la utilización de distintas longitudes de onda se obtiene al calcular el retardo de grupo aplicable a las longitudes de onda utilizadas en las direcciones directa e inversa.

Si A representa la asimetría, se aplica lo siguiente:

$$A = d_f - d_r = L * (n_r - n_f)/c$$

siendo L la distancia, c la velocidad de la luz, d_f y d_r el retardo de la transmisión directa e inversa, y n_r y n_f los índices de refracción de grupo aplicables a la longitud de onda utilizada en las direcciones directa e inversa, respectivamente.

Los índices de refracción pueden evaluarse o bien utilizando datos de dispersión cromática conocidos (por ejemplo, a partir de la hoja de datos de fibra óptica) o bien, en caso de carecer de datos relativos a la dispersión, midiendo el retardo directamente en tres longitudes de onda distintas (así, el índice de refracción para una longitud de onda arbitraria puede derivarse por interpolación cuadrática).

De este modo, dichos datos pueden utilizarse para derivar el retardo de grupo de una longitud de onda genérica. En particular, en el caso de una fibra compatible con UIT-T G.652, el retardo de grupo en las correspondientes longitudes de onda puede calcularse utilizando las ecuaciones de Sellmeier descritas en [b-UIT-T G.652].

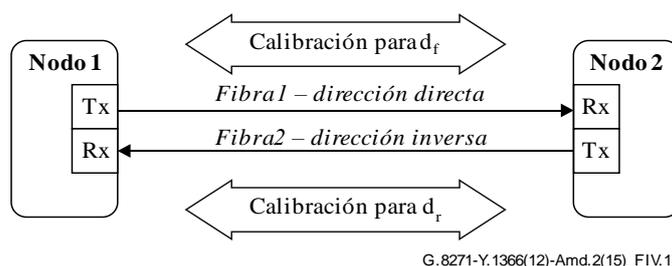
Apéndice IV

Compensación de la asimetría de enlace y red

(Este apéndice no forma parte integrante de la presente Recomendación.)

A fin de compensar la asimetría del retardo de enlace, convendría disponer de algún tipo de procedimiento de calibración automática de la asimetría de enlace. Este último podría basarse en un cálculo de los retardos de propagación realizado mediante mediciones bidireccionales en las fibras utilizadas por el tráfico.

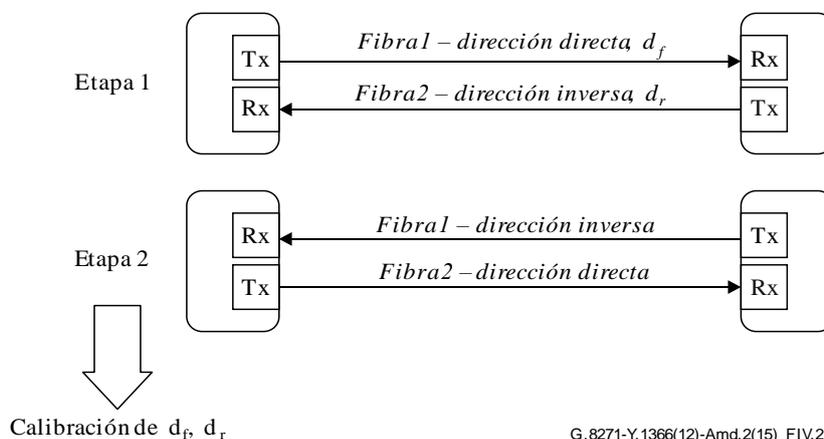
El procedimiento puede llevarse a cabo en ambas fibras (es decir, en la fibra utilizada en la dirección directa y en la fibra utilizada para la dirección inversa) por separado, a fin de obtener el retardo de propagación directa d_f y el retardo de propagación inversa d_r . Esta técnica se ilustra en la Figura IV.1.



G.8271-Y.1366(12)-Amd.2(15)_FIV.1

Figura IV.1 – Proceso de calibración de la asimetría de enlace (ejecutado en ambas fibras por separado)

Otra opción es realizar la medición bidireccional en ambas fibras en torno a dos etapas, invirtiendo la dirección de transmisión. Esta técnica se ilustra en la Figura IV.2.



G.8271-Y.1366(12)-Amd.2(15)_FIV.2

Figura IV.2 – Proceso de calibración de la asimetría de enlace (ejecutado en ambas fibras al mismo tiempo)

NOTA 1 – En el caso de la conexión entre el maestro y el esclavo, según se indica en la Figura I.1, se aplicaría lo siguiente:

$$d_f = d_{ms}$$

$$d_r = d_{sm}$$

El mecanismo de calibración de la asimetría de enlace debe cumplir un objetivo de precisión para las estimaciones de d_f y d_r . Este límite requiere estudios adicionales.

NOTA 2 – En el caso del procedimiento de cálculo de la asimetría en que uno de los nodos pasa al modo de régimen libre (por ejemplo, debido al intercambio de fibras si el procedimiento así lo requiere), cabe tener en cuenta el efecto del régimen libre de frecuencia, ya que podría repercutir en la exactitud de la medición.

Pueden utilizarse diversos métodos de implantación, entre ellos, métodos basados en conmutadores ópticos o en filtros de adición-sustracción fijos o sintonizables. En función del método utilizado, puede que no sea necesario interrumpir el tráfico durante el proceso de calibración y que, por tanto, la operación pueda efectuarse durante el servicio. No obstante, la compensación de la asimetría es un proceso requerido únicamente durante la puesta en marcha o la reorganización de la red.

Esta técnica de medición es aplicable a sistemas de multiplexación por división de longitud de onda (WDM) (incluidas las redes ópticas de transporte (OTN)) y a sistemas no WDM. En el caso de los sistemas WDM, también deber tenerse en cuenta el posible retardo debido a la fibra compensadora de la dispersión (DCF).

NOTA 3 – En el caso de los sistemas WDM, también debe tomarse en consideración la asimetría debida a la utilización de distintas longitudes de onda en ambas direcciones. De hecho, la utilización de distintas longitudes de onda en las dos fibras (o en una única fibra en el caso de los sistemas de transmisión que utilizan solo una fibra) puede dar lugar a diferentes retardos, incluso aunque las fibras tengan la misma longitud. También cabe señalar que se requeriría una compensación relacionada con el mismo aspecto si la longitud de onda utilizada durante el proceso de calibración de la asimetría de enlace difiere de la utilizada por el tráfico. En el Apéndice III se describen metodologías adecuadas para abordar este punto.

La diferencia ($d_f - d_r$) puede utilizarse en la evaluación de la asimetría de retardo vinculada al proceso de recuperación del tiempo. En particular, el parámetro *delayAsymmetry*, definido en el sección 7.4 de [IEEE 1588], equivaldría a la mitad de esa diferencia.

NOTA 4 – Si se implanta un T-BC en cada nodo, dicho reloj puede activar directamente la compensación, pues sería consciente de la diferencia ($d_f - d_r$). En caso contrario, deberían facilitarse medios para permitir que la diferencia ($d_f - d_r$) esté disponible en los puntos de la red donde se procesan los mensajes de protocolo de tiempo de precisión (PTP). Este tema requiere ulteriores estudios.

NOTA 5 – En caso de que el PTP transporte la sincronización de tiempo, la conexión PTP puede presentar una asimetría debida a diversas razones, véanse los trayectos de red, los niveles de carga o las longitudes de cable. La asimetría de una conexión PTP puede evaluarse en un elemento de red PTP, si dicho elemento tiene acceso a una segunda fuente de sincronización de tiempo que no se halle significativamente afectada por la asimetría (por ejemplo, un receptor GNSS o una referencia de sincronización de tiempo transportada a través de un protocolo de temporización tal como el PTP con la precisión adecuada), según se indica en la Figura IV.3. Si la asimetría de la conexión PTP se evalúa utilizando una segunda fuente de sincronización de tiempo, el elemento de red puede compensar el desplazamiento causado por la asimetría. El mismo principio podría aplicarse a los elementos de red de una misma cadena.

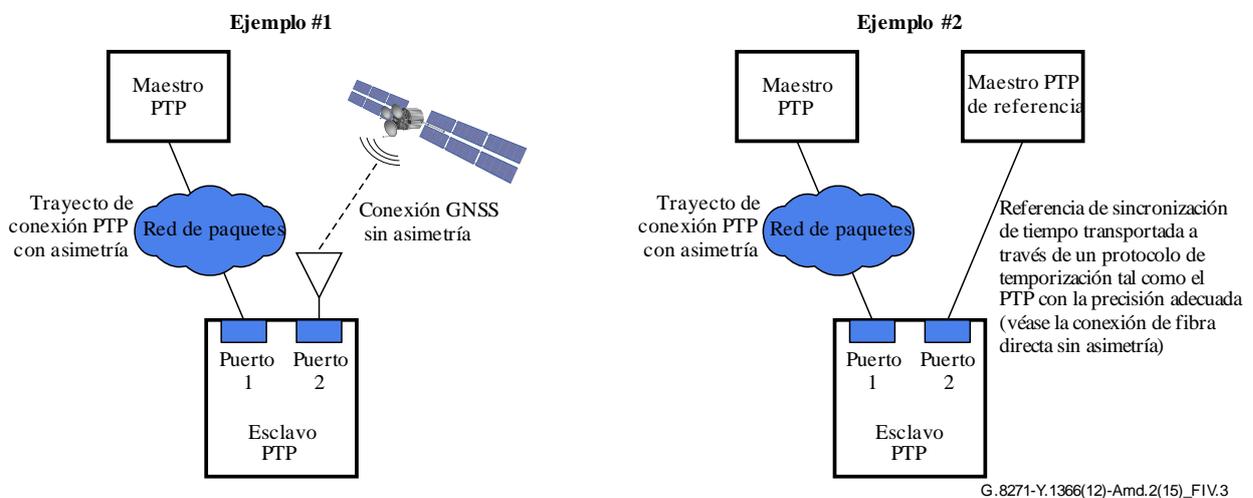


Figura IV.3 – Evaluación por el esclavo PTP de la asimetría de la conexión PTP

Apéndice V

Asimetría de retardo fruto de un cambio en la velocidad de la interfaz de elementos de red no habilitados para PTP

(Este apéndice no forma parte integrante de la presente Recomendación.)

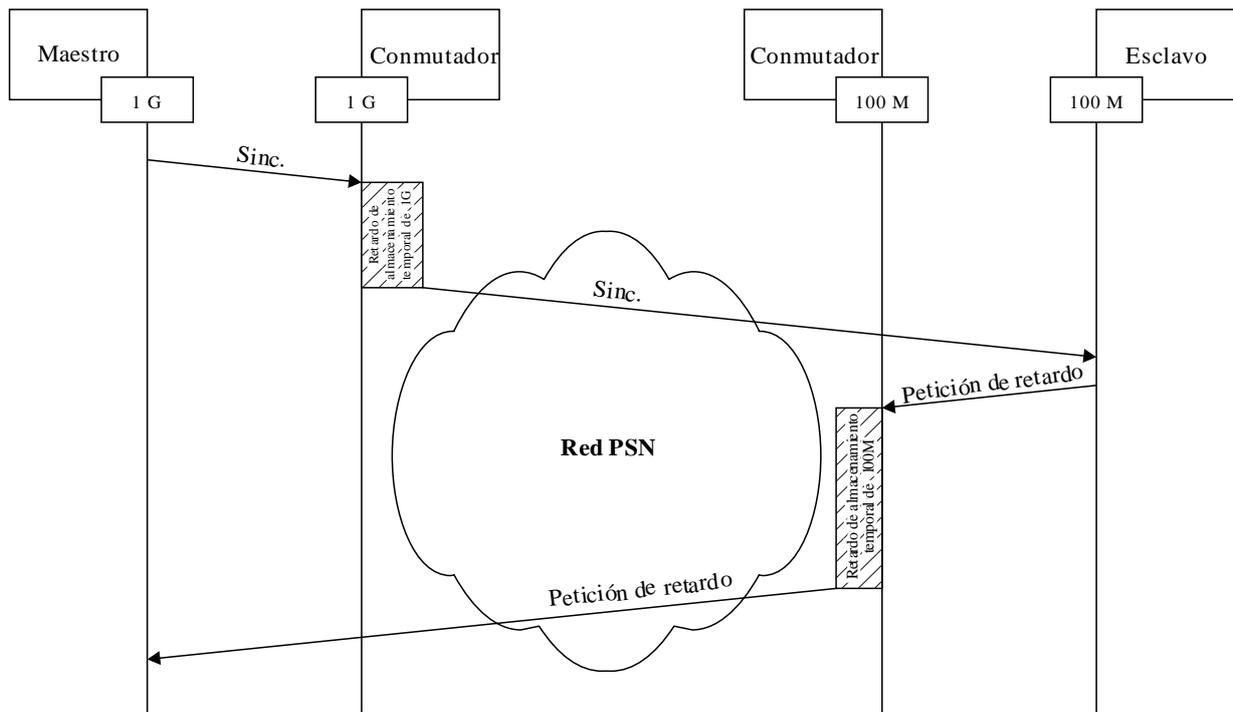
En caso de que el maestro y el esclavo no estén conectados a un elemento de red habilitado para PTP (por ejemplo, BC o TC) ni utilicen la misma velocidad de línea Ethernet, puede generarse una asimetría de retardo debida al carácter "almacenador y retransmisor" de los conmutadores de Ethernet, lo que implica que el conmutador ha de recibir toda la trama antes de iniciar la transmisión en el puerto con una velocidad de línea superior, a fin de garantizar que los datos de paquetes estén disponibles para su transmisión. El tiempo mínimo necesario para transferir el paquete a través del conmutador depende de la longitud del paquete y de la velocidad de la línea de ingreso. La definición de los paquetes PTP Sync y Delay_Req prevé que ambos tengan la misma longitud, con objeto de reducir la asimetría de retardo causada por distintos retardos relacionados con la transición. Por su parte, la discordancia entre las velocidades de Ethernet también generará asimetría.

La asimetría prevista puede estimarse partiendo del tamaño del paquete de mensaje de evento PTP y de la velocidad de las interfaces.

Si se conoce la asimetría estática causada por la discordancia entre las velocidades, el esclavo puede compensarla utilizando el mecanismo de compensación del retardo asimétrico definido en el sección 11.6 de [IEEE 1588].

El siguiente ejemplo ilustra la asimetría generada por una discordancia entre las velocidades:

- El formato de paquete utiliza un encabezamiento UDP/IPv4/Ethernet, de forma que el paquete tiene un tamaño total de 86 bytes (excluidos el preámbulo y la FCS).
- El preámbulo es de 8 bytes.
- La FCS es de 4 bytes.
- La interfaz de eventos de sellado de tiempo del maestro principal PTP es GE (100 Mbit/s).
- La interfaz de eventos de sellado de tiempo del esclavo PTP es FE (100 Mbit/s).
- Se presume que el retardo de la red con conmutación de paquetes (PSN) es simétrico.



G.8271-Y.1366(16)_FV.1

Figura V.1 – Ejemplo de discordancia entre velocidades

Con ello se obtiene la siguiente ecuación para el retardo entre los puntos de evento de sello de tiempo. En el sentido directo del maestro al esclavo, el retardo entre los puntos de evento de indicación de tiempo es:

$$t2 = (L_{PKT} + L_{FCS})_{bytes} \times 8_{bits/byte} \times GE_{ns/bit} + D_{PSN} + (L_{Pre-amble})_{bytes} \times 8_{bits/byte} \times FE_{ns/bit} + t1 \quad (V-1)$$

En el sentido inverso del esclavo al maestro, el retardo entre los puntos de evento de sello de tiempo es:

$$t4 = (L_{PKT} + L_{FCS})_{bytes} \times 8_{bits/byte} \times FE_{ns/bit} + D_{PSN} + (L_{Pre-amble})_{bytes} \times 8_{bits/byte} \times GE_{ns/bit} + t3 \quad (V-2)$$

La fórmula $\langle meanPathDelay \rangle$ de la ecuación (V-2) es:

$$\langle meanPathDelay \rangle = \frac{[(t2 - t1) + (t4 - t3)]}{2} \quad (V-3)$$

Al introducir $(t2 - t1)$ en la ecuación (V-1) y $(t4 - t3)$ en la ecuación (V-2) se obtiene:

$$\langle meanPathDelay \rangle = \frac{(L_{PKT} + L_{FCS} + L_{Pre-amble}) \times 8 \times (GE + FE)_{ns} + 2 \times D_{PSN}}{2} \quad (V-4)$$

$$\langle meanPathDelay \rangle = (L_{PKT} + L_{FCS} + L_{Pre-amble}) \times 8 \times \frac{GE + FE}{2}_{ns} + D_{PSN} \quad (V-5)$$

Por convenio, $\langle delayPathAsymmetry \rangle$ es positivo cuando el trayecto directo es más largo que el inverso.

Entonces, la asimetría del retardo correspondiente al trayecto es la diferencia entre las ecuaciones (V-1) y (V-5):

$$\langle delayPathAsymmetry \rangle = (L_{PKT} + L_{FCS}) \times 8 \times \left(\frac{GE - FE}{2}\right)_{ns} + (L_{Pre-amble}) \times 8 \times \left(\frac{FE - GE}{2}\right)_{ns} \quad (V-6)$$

o la diferencia entre las ecuaciones (V-5) y (V-2):

$$\langle \text{delayPathAsymmetry} \rangle = (L_{PKT} + L_{FCS}) \times 8 \times \left(\frac{GE - FE}{2} \right)_{ns} + (L_{Pre-amble}) \times 8 \times \left(\frac{FE - GE}{2} \right)_{ns} \quad (V-7)$$

Al introducir los valores reales en la ecuación (V-6) se obtiene:

$$\langle \text{delayPathAsymmetry} \rangle = (86 + 4) \times 8 \times \left(\frac{1 - 10}{2} \right)_{ns} + (8) \times 8 \times \left(\frac{10 - 1}{2} \right)_{ns}$$

$$\langle \text{delayPathAsymmetry} \rangle = -2952_{ns}$$

El término general para la asimetría de retardo causada por una discordancia entre las velocidades es el siguiente:

$$\langle \text{delayPathAsymmetry} \rangle = (L_{PKT} + L_{FCS}) \times 8 \times \left(\frac{V_{PEC-M} - V_{PEC-S}}{2} \right) + (L_{Pre-amble}) \times 8 \times \left(\frac{V_{PEC-S} - V_{PEC-M}}{2} \right)$$

siendo:

L_{PKT} la longitud del paquete (excluidos el preámbulo y la FCS) en bytes

L_{FCS} la longitud de la FCS del paquete en bytes

$L_{Pre-amble}$ la longitud del preámbulo del paquete en bytes

V_{Master} la velocidad de la interfaz de sello de tiempo del reloj maestro PTP en bits/segundo

V_{Slave} la velocidad de la interfaz de sello de tiempo del reloj esclavo PTP en bits/segundo.

Bibliografía

- [b-UIT-T G.652] Recomendación UIT-T G.652 (2009), *Características de las fibras y cables ópticos monomodo*.
- [b-UIT-T G.8271.1] Recomendación UIT-T G.8271.1/Y.1366.1 (2013), *Aspectos de la sincronización del tiempo y la fase en las redes por paquetes*.
- [b-IEEE 802.16] IEEE 802.16-2012, *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems*.
<<http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.16-2012.html>>
- [b-IEEE 802.3bf] IEEE 802.3-2011, *IEEE Standard for Information technology – Local and metropolitan area networks – Part 3: CSMA/CD Access Method and Physical Layer Specifications Amendment 7: Media Access Control (MAC) Service Interface and Management Parameters to Support Time Synchronization Protocols*.
<<http://www.techstreet.com/ieee/searches/13964866>>
- [b-WMF T23-001] WMF-T23-001-R015v03 (2012), *WiMAX Forum® Air Interface Specifications – Mobile System Profile Specification*.
<http://resources.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/technical_document/2012/04/WMF-T23-001-R015v03_MSP-Common-Part.pdf>
- [b-3GPP TR 25.836] 3GPP TR 25.836 (2001), *Node B synchronization for TDD*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/25836.htm>>
- [b-3GPP TR 25.866] 3GPP TR 25.866 (2009), *1.28 Mcps TDD Home NodeB (HNB) study item technical report*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/25866.htm>>
- [b-3GPP TR 36.814] 3GPP TR 36.814 (2010), *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Further advancements for E-UTRA physical layer aspects*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/36814.htm>>
- [b-3GPP TR 36.922] 3GPP TR 36.922 (2015), *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); TDD Home eNode B (HeNB) Radio Frequency (RF) requirements analysis*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/36922.htm>>
- [b-3GPP TS 25.123] 3GPP TS 25.123 (2015), *Requirements for support of radio resource management (TDD)*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/25123.htm>>
- [b-3GPP TS 25.346] 3GPP TS 25.346 (2016), *Introduction of the Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) in the Radio Access Network (RAN); Stage 2*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/25346.htm>>
- [b-3GPP TS 25.402] 3GPP TS 25.402 (2016), *Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS); Synchronization in UTRAN Stage 2*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/25402.htm>>
- [b-3GPP TS 36.104] 3GPP TS 36.104 (2016), *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/36104.htm>>
- [b-3GPP TS 36.133] 3GPP TS 36.133 (2016), *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Requirements for support of radio resource management*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/36133.htm>>

- [b-3GPP2 C.S0010] 3GPP2 C.S0010-E v2.0 (2014), *Recommended Minimum Performance Standards for cdma2000 Spread Spectrum Base Stations*.
<http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/C.S0010-E_v2.0_20140321.pdf>
- [b-3GPP2 C.S0002] 3GPP2 C.S0002-F v2.0 (2014), *Physical layer standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems*.
<http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/C.S0002-F_v2.0_20140519.pdf>

RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE Y

**INFRAESTRUCTURA MUNDIAL DE LA INFORMACIÓN, ASPECTOS DEL PROTOCOLO INTERNET,
REDES DE PRÓXIMA GENERACIÓN, INTERNET DE LAS COSAS Y CIUDADES INTELIGENTES**

INFRAESTRUCTURA MUNDIAL DE LA INFORMACIÓN	
Generalidades	Y.100–Y.199
Servicios, aplicaciones y programas intermedios	Y.200–Y.299
Aspectos de red	Y.300–Y.399
Interfaces y protocolos	Y.400–Y.499
Numeración, direccionamiento y denominación	Y.500–Y.599
Operaciones, administración y mantenimiento	Y.600–Y.699
Seguridad	Y.700–Y.799
Características	Y.800–Y.899
ASPECTOS DEL PROTOCOLO INTERNET	
Generalidades	Y.1000–Y.1099
Servicios y aplicaciones	Y.1100–Y.1199
Arquitectura, acceso, capacidades de red y gestión de recursos	Y.1200–Y.1299
Transporte	Y.1300–Y.1399
Interfuncionamiento	Y.1400–Y.1499
Calidad de servicio y características de red	Y.1500–Y.1599
Señalización	Y.1600–Y.1699
Operaciones, administración y mantenimiento	Y.1700–Y.1799
Tasación	Y.1800–Y.1899
Televisión IP sobre redes de próxima generación	Y.1900–Y.1999
REDES DE LA PRÓXIMA GENERACIÓN	
Marcos y modelos arquitecturales funcionales	Y.2000–Y.2099
Calidad de servicio y calidad de funcionamiento	Y.2100–Y.2199
Aspectos relativos a los servicios: capacidades y arquitectura de servicios	Y.2200–Y.2249
Aspectos relativos a los servicios: interoperabilidad de servicios y redes en las redes de la próxima generación	Y.2250–Y.2299
Mejoras de las NGN	Y.2300–Y.2399
Gestión de red	Y.2400–Y.2499
Arquitecturas y protocolos de control de red	Y.2500–Y.2599
Redes basadas en paquetes	Y.2600–Y.2699
Seguridad	Y.2700–Y.2799
Movilidad generalizada	Y.2800–Y.2899
Entorno abierto con calidad de operador	Y.2900–Y.2999
REDES FUTURAS	Y.3000–Y.3499
COMPUTACIÓN EN LA NUBE	Y.3500–Y.3999
INTERNET DE LAS COSAS Y CIUDADES Y COMUNIDADES INTELIGENTES	
General	Y.4000–Y.4049
Definiciones y terminologías	Y.4050–Y.4099
Requisitos y casos de utilización	Y.4100–Y.4249
Infraestructura, conectividad y redes	Y.4250–Y.4399
Marcos, arquitecturas y protocolos	Y.4400–Y.4549
Servicios, aplicaciones, computación y proceso de datos	Y.4550–Y.4699
Gestión, control y calidad de funcionamiento	Y.4700–Y.4799
Identificación y seguridad	Y.4800–Y.4899

Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie D	Principios de tarificación y contabilidad y cuestiones económicas y políticas de las telecomunicaciones/TIC internacionales
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedia
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedia
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Medio ambiente y TIC, cambio climático, ciberdesechos, eficiencia energética, construcción, instalación y protección de los cables y demás elementos de planta exterior
Serie M	Gestión de las telecomunicaciones, incluida la RGT y el mantenimiento de redes
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de la transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes de líneas locales
Serie Q	Conmutación y señalización, y mediciones y pruebas asociadas
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos, comunicaciones de sistemas abiertos y seguridad
Serie Y	Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo Internet, redes de próxima generación, Internet de las cosas y ciudades inteligentes
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación