

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.8261/Y.1361

(08/2013)

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 Y REDES DE LA PRÓXIMA
GENERACIÓN Aspectos del protocolo Internet –
Transporte

**Aspectos de la temporización y la sincronización
en las redes de paquetes**

Recomendación UIT-T G.8261/Y.1361

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.8261/Y.1361

Aspectos de la temporización y la sincronización en las redes de paquetes

Resumen

La Recomendación UIT-T G.8261/Y.1361 define aspectos de la sincronización de frecuencia en las redes de paquetes. Especifica los límites máximos de red de la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase que no han de ser sobrepasados. Establece la tolerancia mínima de los equipos a la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase que habrá de estar presente en las interfaces TDM y de sincronización de la frontera de estas redes de paquetes. Indica además los requisitos mínimos de la función de sincronización de los elementos de red.

En esta Recomendación se especifican los requisitos de las características de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase que han de cumplirse para asegurar el interfuncionamiento de los equipos producidos por diferentes fabricantes y una calidad de funcionamiento de la red satisfactoria.

Historia

Edición	Recomendación	Aprobación	Comisión de Estudio	ID único*
1.0	ITU-T G.8261/Y.1361	2006-05-22	15	11.1002/1000/8787
1.1	ITU-T G.8261/Y.1361 (2006) Cor. 1	2006-12-14	15	11.1002/1000/9010
2.0	ITU-T G.8261/Y.1361	2008-04-29	15	11.1002/1000/9416
2.1	ITU-T G.8261/Y.1361 (2008) Amd. 1	2010-07-29	15	11.1002/1000/10908
3.0	ITU-T G.8261/Y.1361	2013-08-29	15	11.1002/1000/12015
3.1	ITU-T G.8261/Y.1361 (2013) Amd. 1	2015-01-13	15	11.1002/1000/12388
3.2	ITU-T G.8261/Y.1361 (2013) Cor. 1	2016-04-13	15	11.1002/1000/12809

* 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 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 2016

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.....	4
3.1 Términos definidos en otros documentos.....	4
3.2 Términos definidos en la presente Recomendación	4
4 Abreviaturas y acrónimos	5
5 Convenios	7
6 Generalidades	7
6.1 Requisitos de sincronización de red de paquetes	8
6.2 Requisitos de temporización TDM.....	9
6.3 Ingeniería de red de sincronización en redes de paquetes	10
6.4 Requisitos de temporización en redes periféricas frente a requisitos de temporización en redes medulares.....	10
6.5 Dominio PNT y dominio CES.....	10
7 Distribución de la señal de temporización de referencia por redes de paquetes (dominio PNT).....	11
7.1 Métodos plesiócronicos y síncronicos de red.....	11
7.2 Métodos basados en paquetes.....	12
8 Recuperación de la temporización para servicios a velocidad binaria constante transportados por redes de paquetes (dominio CES).....	13
8.1 Funcionamiento síncrono de red	14
8.2 Métodos diferenciales.....	14
8.3 Métodos adaptativos	15
8.4 Reloj de referencia disponible en los sistemas de extremo TDM	15
9 Límites de red	16
9.1 Límites de red CES.....	16
9.2 Límites de red PNT	21
10 Repercusión de las degradaciones de la red de paquetes en la distribución de la temporización y la recuperación del reloj de servicio	27
10.1 Retardo en la transferencia de paquetes y variación del retardo	29
10.2 Repercusiones de las degradaciones de los paquetes	34
11 Repercusión de la degradación del reloj de referencia en la recuperación del reloj de servicio.....	35
11.1 Degradaciones en el caso de métodos de funcionamiento síncrono de red....	35
11.2 Degradaciones en el caso de método diferencial.....	36
12 Resultados y consecuencias de los diferentes métodos de sincronización en los modelos de referencia de red de paquetes	37
12.1 Recomendaciones en el dominio CES.....	37

	Página
12.2 Recomendaciones para el dominio PNT	39
Anexo A – Arquitectura de red propuesta para Ethernet síncrona	42
A.1 Ubicación del PRC	42
A.2 Limitación de la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase de Ethernet síncrona	42
A.3 Consideraciones relativas al diseño de redes de sincronización basadas en Ethernet síncrona	43
A.4 Ejemplo de distribución de temporización a través de Ethernet síncrona.....	44
A.5 Interfuncionamiento de las interfaces entre Ethernet y Ethernet síncrona	44
Anexo B – Partición funcional de IWF en CES y PNT IWF y ejemplos de red	49
B.1 Generalidades	49
B.2 Relojes IWF.....	51
B.3 Ejemplos de red	53
Anexo C – Requisitos relacionados con la sincronización de la IWF	56
C.1 Interfaces de tráfico	56
C.2 Interfaces de sincronización	56
C.3 Función de sincronización de la IWF	57
Anexo D – Aplicaciones de red y requisitos para los relojes especificados en [UIT-T G.8262/Y.1362]	58
Apéndice I – Características de los conmutadores y las redes Ethernet, encaminadores y tecnologías de acceso.....	60
I.1 Características de los conmutadores y las redes Ethernet	60
I.2 Características de retardo de los encaminadores	64
I.3 Características de retardo de tecnologías de acceso (nodos de microondas, PON, DSL)	65
Apéndice II – Periodo de estabilización	66
Apéndice III – Consideraciones sobre métodos basados en paquetes	67
Apéndice IV – Aplicaciones y casos de uso	68
IV.1 Antecedentes.....	68
IV.2 Inalámbrica	68
IV.3 Infraestructura.....	70
IV.4 Pasarelas de medios	70
Apéndice V – Modelos de referencia de las redes de paquetes	71
V.1 Modelos de redes Ethernet	71
V.2 Otros modelos de red.....	73
Apéndice VI – Directrices para la medición para métodos basados en paquetes	77
VI.1 Puntos de referencia de la medición	77
VI.2 Características del tráfico de entrada.....	78
VI.3 Topologías de prueba para métodos adaptativos.....	80
VI.4 Topologías de prueba para métodos diferenciales.....	86

	Página
VI.5 Pruebas para protocolos bidireccionales	88
Apéndice VII – Límites de la fluctuación lenta de fase en el caso de instalación 1	95
VII.1 Límites para la interfaz a 2 048 kbit/s	95
VII.2 Límites para la interfaz a 1 544 kbit/s	96
Apéndice VIII – Mensajería de estado de sincronización en PHY Ethernet síncrona.....	97
Apéndice IX – Ejemplos de IWF.....	98
Apéndice X – Consideraciones sobre la medición de Ethernet síncrona siguiendo las metodologías UIT-T en comparación con las mediciones de fluctuación de fase del IEEE.....	101
Apéndice XI – Relación entre los requisitos incluidos en esta Recomendación y otras Recomendaciones relativas a la sincronización.....	102
Apéndice XII – Principios básicos de los métodos basados en paquetes	105
XII.1 General	105
XII.2 Reducción de la variación del retardo de paquetes mediante selección de paquetes	108
XII.3 Comparación entre los métodos basados en paquetes y de PHY síncrona.....	109
XII.4 Normas existentes.....	109
Apéndice XIII – Evaluación de la generación de la variación del retardo de paquetes en un nodo de red	110
XIII.1 Introducción.....	110
XIII.2 Consideraciones generales.....	110
XIII.3 Configuración general	110
Bibliografía	112

Recomendación UIT-T G.8261/Y.1361

Aspectos de la temporización y la sincronización en las redes de paquetes

1 Alcance

Esta Recomendación define aspectos de la sincronización de frecuencia en las redes de paquetes. Especifica los límites máximos de red de la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase que no han de ser sobrepasados. Establece la tolerancia mínima de los equipos a la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase que habrá de estar presente en las interfaces TDM y de sincronización en la frontera de estas redes de paquetes. Indica además los requisitos mínimos de la función de sincronización de los elementos de red.

En particular, en esta Recomendación se consideran dos asuntos principales: la distribución de una señal de reloj de red de sincronización por una red de paquetes (dominio PNT) y la distribución por una red de reloj de servicio por una red de paquetes (dominio CES).

NOTA – La aplicación del transporte de señales SDH por redes de paquetes solo se considera parcialmente y algunos aspectos quedan en estudio.

Las redes de paquetes que se encuentran dentro del ámbito de aplicación de esta Recomendación están limitadas actualmente a los escenarios siguientes:

- Ethernet [IEEE 802.], [IEEE 802.1DTM], [IEEE 802.1QTM] e [IEEE 802.1QayTM].
- MPLS [IETF RFC 3031] y [UIT-T G.8110].
- IP [IETF RFC 791] y [IETF RFC 2460].

La capa física que corresponde a esta Recomendación es la de tipos de medios Ethernet que se define en [IEEE 802.3]. Pueden ser importantes otras capas físicas que se tratarán en futuras versiones de esta Recomendación.

2 Referencias

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes. En esta Recomendación, la referencia a un documento, en tanto que autónomo, no le otorga el rango de una Recomendación.

- [UIT-T G.691] Recomendación UIT-T G.691 (2006), *Interfaces ópticas para los sistemas monocanal STM-64 y otros sistemas de la jerarquía digital síncrona con amplificadores ópticos.*
- [UIT-T G.702] Recomendación UIT-T G.702 (1988), *Velocidades binarias de la jerarquía digital.*
- [UIT-T G.703] Recomendación UIT-T G.703 (2001), *Características físicas y eléctricas de las interfaces digitales jerárquicas.*
- [UIT-T G.705] Recomendación UIT-T G.705 (2000), *Características de los bloques funcionales del equipo de la jerarquía digital plesiócrona.*

- [UIT-T G.781] Recomendación UIT-T G.781 (2008), *Funciones de capas de sincronización.*
- [UIT-T G.803] Recomendación UIT-T G.803 (2000), *Arquitecturas de redes de transporte basadas en la jerarquía digital síncrona (SDH).*
- [UIT-T G.811] Recomendación UIT-T G.811 (1997), *Características de temporización de los relojes de referencia primarios.*
- [UIT-T G.812] Recomendación UIT-T G.812 (2004), *Requisitos de temporización de relojes subordinados adecuados para utilización como relojes de nodo en redes de sincronización.*
- [UIT-T G.813] Recomendación UIT-T G.813 (2003), *Características de temporización de relojes subordinados de equipos de la jerarquía digital síncrona.*
- [UIT-T G.822] Recomendación UIT-T G.822 (1988), *Objetivos de tasa de deslizamientos controlados en una conexión digital internacional.*
- [UIT-T G.823] Recomendación UIT-T G.823 (2000), *Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía de 2 048 kbit/s.*
- [UIT-T G.824] Recomendación UIT-T G.824 (2000), *Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía de 1 544 kbit/s.*
- [UIT-T G.825] Recomendación UIT-T G.825 (2000), *Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía digital síncrona.*
- [UIT-T G.957] Recomendación UIT-T G.957 (2006), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital síncrona.*
- [UIT-T G.959.1] Recomendación UIT-T G.959.1 (2008), *Interfaces de capa física de red óptica de transporte.*
- [UIT-T G.8010] Recomendación UIT-T G.8010/Y.1306 (2004), *Arquitectura de redes de capa Ethernet.*
- [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.8110.1] Recomendación UIT-T G.8110.1/Y.1370.1 (2006), *Arquitectura de red de perfil de transporte con conmutación por etiquetas multiprotocolo.*
- [UIT-T G.8260] Recomendación UIT-T G.8260 (2010), *Definiciones y terminología para la sincronización en redes de paquetes.*
- [UIT-T G.8261.1] Recomendación UIT-T G.8261.1/Y.1361.1 (2012), *Límites de la variación del retardo de paquetes en la red aplicables a los métodos por paquetes (Sincronización de la frecuencia).*
- [UIT-T G.8262] Recomendación UIT-T G.8262/Y.1362 (2010), *Características de temporización del reloj subordinado de los equipos síncronos de Ethernet.*
- [UIT-T G.8263] Recomendación UIT-T G.8263/Y.1363 (2012), *Características de temporización de los relojes de los equipos por paquetes.*
- [UIT-T G.8264] Recomendación UIT-T G.8264/Y.1364 (2008), *Distribución de temporización mediante redes de paquetes.*

- [UIT-T G.8265] Recomendación UIT-T G.8265/Y.1365 (2010), *Arquitectura y requisitos para la entrega de frecuencia basada en paquetes.*
- [UIT-T G.8265.1] Recomendación UIT-T G.8265.1/Y.1365.1 (2010), *Precisión del perfil de protocolo telecom para la sincronización de frecuencias.*
- [UIT-T G.8271] Recomendación UIT-T G.8271/Y1366 (2012), *Aspectos de la sincronización del tiempo y la fase en las redes por paquetes.*
- [UIT-T O.171] Recomendación UIT-T O.171 (1997), *Aparato de medida de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase de la temporización para sistemas digitales basados en la jerarquía digital plesiócroma.*
- [[UIT-T O.172] Recomendación UIT-T O.172 (2005), *Aparato de medida de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase para sistemas digitales basados en la jerarquía digital síncrona.*
- [UIT-T Y.1411] Recomendación UIT-T Y.1411 (2003), *Interfuncionamiento de redes con conmutación por etiquetas multiprotocolo y modo de transferencia asíncrono – Interfuncionamiento en el plano de usuario en modo célula.*
- [UIT-T Y.1540] Recomendación UIT-T Y.1540 (2002), *Servicio de comunicación de datos con protocolo Internet – Parámetros de calidad de funcionamiento relativos a la disponibilidad y la transferencia de paquetes de protocolo Internet.*
- [UIT-T Y.1561] Recomendación UIT-T Y.1561 (2004), *Parámetros de calidad de funcionamiento y disponibilidad para redes con conmutación por etiquetas multiprotocolo.*
- [UIT-T Y.1731] Recomendación UIT-T Y.1731 (2006), *Funciones y mecanismos de operación, administración y mantenimiento para redes basadas en Ethernet.*
- [IEEE 802] IEEE 802-2001, *IEEE standard for local and metropolitan area networks: Overview and architecture.*
<<http://standards.ieee.org/getieee802/802.html>>
- [IEEE 802.1D] IEEE 802.1D-2004, *IEEE Standard for local and metropolitan area networks: Media Access Control (MAC) Bridges.*
<<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.1D-2004.pdf>>
- [IEEE 802.1Q] IEEE 802.1Q-2011, *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Virtual Bridged Local Area Networks.*
<<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.1Q-2011.pdf>>
- [IEEE 802.3] IEEE 802.3-2008, *Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications.*
<<http://standards.ieee.org/getieee802/802.3.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

3.1 Términos definidos en otros documentos

En la presente Recomendación se utilizan los siguientes términos definidos en otros documentos:

- 3.1.1 **recuperación de reloj adaptativa:** Véase [UIT-T G.8260].
- 3.1.2 **interfaz asíncrona:** Véase [UIT-T G.823].
- 3.1.3 **función de interfuncionamiento (IWF, *Interworking function*):** Véase [UIT-T Y.1411]. En el Anexo B y Apéndice IX se muestran más detalles y ejemplos..
- 3.1.4 **método basado en paquetes:** Véase [UIT-T G.8260].
- 3.1.5 **método basado en paquetes con soporte de temporización desde la red:** Véase [UIT-T G.8260].
- 3.1.6 **método basado en paquetes sin soporte de temporización desde la red:** Véase [UIT-T G.8260].
- 3.1.7 **función de temporización de la red de paquetes (PNT-F, *Packet network timing function*):** Véase [UIT-T G.8260].
- 3.1.8 **interfaz síncrona:** Véase [UIT-T G.823].
- 3.1.9 **interfaz de tráfico:** Véase [UIT-T G.823].

3.2 Términos definidos en la presente Recomendación

En esta Recomendación se definen los siguientes términos:

3.2.1 **CES IWF:** La función de interfuncionamiento (IWF) de los servicios de emulación de circuitos (CES) es el conjunto de funciones en la IWF que soporta el dominio de reloj de servicio (véase la Figura B.3). Esto incluye la función de recuperación de la temporización del reloj de servicio.

3.2.2 **isla de servicios de emulación de circuitos (CES, *circuit emulation services*):** Segmento de una red, basada en tecnologías de conmutación de paquetes, que emula las características de una red con conmutación de circuitos o de una red de transporte PDH/SDH, para llevar servicios CBR (por ejemplo, E1).

3.2.3 **trazabilidad de fuente de frecuencia:** La trazabilidad de fuente de frecuencia es una relación en la que la frecuencia de todos los relojes en un sistema se referencian sobre un único reloj físico. En condiciones normales de funcionamiento, todos los relojes tendrán la misma frecuencia promedio en un sistema con trazabilidad de fuente. Por lo tanto, el error de fase o el máximo error en el intervalo de tiempo (MTIE, *maximum time interval error*) entre todos los relojes en estos sistemas están limitados.

NOTA – Un caso diferente sería cuando los relojes tienen trazabilidad de frecuencia en relación con relojes maestros precisos (que no están necesariamente en los mismos equipos). Esto está relacionado con el concepto de plesiócrono que se define en [b-UIT-T G.810]. Por ejemplo, cuando los relojes tienen "trazabilidad PRC" (es decir, trazabilidad con los relojes de [UIT T G.811]) en una red de sincronización basada en la arquitectura PRC distribuida.

3.2.4 **reloj de red:** Reloj que genera la señal de reloj de la red.

3.2.5 **dominio de reloj de red:** Conjunto de funciones destinadas al soporte de la sincronización de la red (reloj de red).

3.2.6 **señal de reloj de red:** Señal de temporización de referencia que se utiliza como una referencia para establecer y deshacer la correspondencia de un reloj de servicio en puntos de ingreso y egreso de la red respectivamente. En algunas aplicaciones, la señal podría ser asíncrona y estar

generada por relojes de funcionamiento libre con requisitos reducidos en términos de exactitud de frecuencia (por ejemplo, en la red Ethernet, la capa física puede funcionar con hasta ± 100 ppm). En otras aplicaciones, se necesita una señal de temporización de referencia precisa. En este caso, en condiciones normales, la señal normalmente se puede rastrear hasta un PRC y la distribución de esta señal a través de la red se realiza mediante una red de sincronización.

NOTA – Para los fines de la presente Recomendación, se considera que siempre se dispone de una señal suficientemente exacta. Por ello, la definición de señal de reloj de red se puede considerar que coincide con la definición de señal de reloj de red de sincronización y los dos términos se utilizan indistintamente en la presente Recomendación.

3.2.7 funcionamiento síncrono de red: Sincronización de la capa física (normalmente mediante la distribución de temporización de una señal de temporización rastreada hasta un reloj de referencia primario (PRC, *primary reference clock*), véase [UIT-T G.811]).

3.2.8 reloj de servicio: Reloj que genera la señal de reloj del servicio.

3.2.9 dominio de reloj de servicio: Conjunto de funciones destinadas al soporte de la función de temporización CES (reloj de servicio).

3.2.10 señal de reloj de servicio: Información de temporización que está asociada con un determinado servicio soportado por la red. Por ejemplo, en el caso del servicio E1 TDM, la temporización debe ser de 2.048 kbit/s ± 50 ppm.

3.2.11 reloj de red de sincronización: Equipo que proporciona la señal de temporización en la red de sincronización.

3.2.12 señal de reloj de red de sincronización: Señal de temporización de referencia distribuida por la red de sincronización. Esta señal es rastreada hasta un reloj maestro preciso (por ejemplo, PRC).

3.2.13 multiplexación por división en el tiempo (TDM, *time division multiplex*): Término que se refiere, de manera convencional, a los trenes de bits isócronos utilizados en redes telefónicas; en particular las pertenecientes a la jerarquía digital plesiócrona (PDH), que se describe en [UIT-T G.705]. Las velocidades binarias utilizadas tradicionalmente en diversas regiones del mundo se detallan en [UIT-T G.702]. Ejemplos de señales abarcadas por la definición de TDM son las pertenecientes a las jerarquías PDH y SDH.

3.2.14 periodo de estabilización: El periodo que comienza en el momento en que una fuente de temporización validada ha sido seleccionada por la IWF y termina cuando las características de temporización de salida se hallan dentro de los requisitos de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase a la salida.

3.2.15 balance de fluctuación lenta de fase (de una isla de red): Fluctuación lenta de fase generada a la salida de una isla de red cuando la señal de entrada en el primer elemento de red de esa isla de red es una señal de temporización de referencia ideal.

4 Abreviaturas y acrónimos

En esta Recomendación se utilizan las siguientes abreviaturas y acrónimos:

3GPP	Proyecto asociado de tercera generación (<i>third generation partnership project</i>)
ATM	Modo de transferencia asíncrono (<i>asynchronous transfer mode</i>)
BS	Estación base (<i>base station</i>)
CBR	Velocidad binaria constante (<i>constant bit rate</i>)
CDMA	Acceso múltiple por división de código (<i>code division multiple access</i>)
CE	Equipo de cliente (<i>customer equipment</i>)

CES	Servicio de emulación de circuitos (<i>circuit emulation service</i>)
DUT	Dispositivo sometido a prueba (<i>device under test</i>)
EEC	Reloj de equipo de Ethernet síncrona (<i>synchronous Ethernet equipment clock</i>)
ESMC	Canal de mensajería de sincronización Ethernet (<i>Ethernet synchronization messaging channel</i>)
FDD	Dúplex por división de frecuencia (<i>frequency division duplex</i>)
FE	Ethernet rápida (<i>fast Ethernet</i>)
GE	Ethernet con capacidad de gigabits (<i>gigabit Ethernet</i>)
GPS	Sistema mundial de determinación de posición (<i>global positioning system</i>)
GSM	Sistema mundial para comunicaciones móviles (<i>global system for mobile communications</i>)
IP	Protocolo Internet (<i>Internet protocol</i>)
IP DSLAM	Multiplexor de acceso de línea de abonado digital IP (<i>IP digital subscriber line access multiplexer</i>)
IWF	Función de interfuncionamiento (<i>interworking function</i>)
MAC	Control de acceso a medio (<i>medium access control</i>)
M-CMTS	Sistema de terminación de módem de cable modular (<i>modular cable modem termination system</i>)
MPEG	Grupo de expertos sobre imágenes en movimiento (<i>moving picture experts group</i>)
MRTIE	Máximo error relativo en el intervalo de tiempo (<i>maximum relative time interval error</i>)
MSAN	Nodo de acceso multiservicio (<i>multiservice access node</i>)
MTIE	Máximo error en el intervalo de tiempo (<i>maximum time interval error</i>)
NTP	Protocolo de tiempo de red (<i>network time protocol</i>)
OLT	Terminación de línea óptica (<i>optical line termination</i>)
OTN	Red óptica de transporte (<i>optical transport network</i>)
PDH	Jerarquía digital plesiócrona (<i>plesiochronous digital hierarchy</i>)
PDV	Variación de retardo de paquetes (<i>packet delay variation</i>)
PEC	Reloj de equipo basado en paquetes (<i>packet-based equipment clock</i>)
PHY	Capa física (<i>PHYsical (layer)</i>)
PNT	Temporización de red de paquetes (<i>packet network timing</i>)
PNT-F	Función PNT (<i>PNT-function</i>)
PRC	Reloj de referencia primario (<i>primary reference clock</i>)
PSC-A	Reloj de servicio basado en paquetes adaptivo (<i>packet-based service clock-adaptive</i>)
PSC-D	Reloj de servicio basado en paquetes diferencial (<i>packet-based service clock-differential</i>)
RTPC	Red telefónica pública conmutada
PTP	Protocolo de tiempo de precisión (<i>precision time protocol</i>)
QL	Nivel de calidad (<i>quality level</i>)

SASE	Equipo de sincronización autónomo (<i>stand alone synchronization equipment</i>)
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SEC	Reloj de equipo de SDH (<i>SDH equipment clock</i>)
SLA	Acuerdo de nivel de servicio (<i>service level agreement</i>)
SNTP	Protocolo de tiempo de red simple (<i>simple network time protocol</i>)
SRTS	Indicación de tiempo residual síncrona (<i>synchronous residual time stamp</i>)
SSM	Mensaje de estado de sincronización (<i>synchronization status message</i>)
SSU	Unidad de suministro de sincronización (<i>synchronization supply unit</i>)
STM	Modo de transferencia síncrono (<i>synchronous transfer mode</i>)
TCP	Protocolo de control de transmisión (<i>transmission control protocol</i>)
TDD	Dúplex por división en el tiempo (<i>time division duplex</i>)
TDEV	Desviación de tiempo (<i>time deviation</i>)
TDM	Multiplexación por división en el tiempo (<i>time division multiplex</i>)
TDM PW	Seudoalambre TDM (<i>TDM pseudowire</i>)
ToD	Hora local (<i>time of day</i>)
UI	Intervalo unitario (<i>unit interval</i>)
UTC	Tiempo Universal Coordinado (<i>universal time coordinated</i>)
WCDMA	Acceso múltiple por división en el código de banda ancha (<i>wideband code division multiple access</i>)

5 Convenios

Los términos "paquetes" y "tramas" se utilizan indistintamente a lo largo de esta Recomendación.

En la presente Recomendación, el término "Ethernet" se refiere a una interfaz definida en [IEEE 802.3] que no cumple los requisitos de temporización adicionales de Ethernet síncrona que se especifican en la presente Recomendación, en [UIT-T G.8262] y en [UIT-T G.8264].

6 Generalidades

La conmutación de paquetes se introdujo inicialmente para el tratamiento de datos asíncronos.

No obstante, en aplicaciones nuevas tales como el transporte de servicios de multiplexación por división en el tiempo (TDM) y la distribución de sincronización por redes de paquetes, es preciso tener en cuenta los requisitos estrictos de la sincronización.

La evolución que se está produciendo en el campo de las telecomunicaciones aumenta la probabilidad de entornos híbridos paquetes/circuitos para servicios de telefonía y de datos en banda vocal. Esos entornos combinan tecnologías de paquetes (por ejemplo, modo de transferencia asíncrona (ATM, *asynchronous transfer mode*), IP, Ethernet) con sistemas TDM tradicionales. En estas condiciones, es fundamental asegurar el mantenimiento de un nivel de calidad aceptable (por ejemplo, una tasa de deslizamientos limitada).

La sincronización en redes TDM está bien estudiada e implementada. Lo normal es que un proveedor de servicios por circuito TDM mantenga una red de distribución de temporización, proporcionando sincronización rastreada hasta un reloj de referencia primario (es decir, un reloj conforme con [UIT-T G.811]).

Los aspectos de la temporización y la sincronización analizados en esta Recomendación se refieren en principio a redes cuya capa física se basa en tipos de medios Ethernet como las definidas en [IEEE 802.3] (véase Alcance, cláusula 1).

En [UIT-T G.8010] se define la arquitectura funcional de las redes Ethernet.

En el contexto de esta Recomendación, las capas más altas (por ejemplo, la capa 7 del modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI, *open systems interconnection*)) hacen referencia a aplicaciones transportadas por las redes de paquetes. Las aplicaciones en tiempo real tienen unos requisitos de temporización relativamente estrictos a propósito del retardo y de la variación del retardo. Algunas aplicaciones podrían resolver sus asuntos de temporización dentro de las capas superiores (por ejemplo, MPEG-2), otras aplicaciones en cambio se basan en el soporte de la temporización que proporcionan una o más capas inferiores (por ejemplo, la capa física).

Esta Recomendación tiene por objeto describir diferentes maneras de cumplir los requisitos relacionados con la sincronización. Se consideran tanto el dominio de los servicios de emulación de circuitos (CES) como el de temporización de red de paquetes (PNT) y se describen los diferentes requisitos.

Además, se exponen los requisitos relativos a las interfaces y los equipos que forman parte de la red Ethernet y de la red Ethernet síncrona. Se dan también recomendaciones sobre cuándo aplicar los distintos tipos de sincronización.

En las cláusulas que siguen se hacen de forma resumida algunas consideraciones a propósito de los requisitos de la sincronización aplicable en una red basada en paquetes.

Esta Recomendación trata principalmente del CES en entornos de red pública. En algunas aplicaciones de red privada que implican la emulación de circuitos, puede ser suficiente distribuir un reloj común con nivel de calidad inferior a la de un reloj de referencia primario (PRC) hacia nodos de la función de interfuncionamiento (IWF) del CES. Sin embargo, la utilización de una temporización de sincronización cuyo nivel de calidad fuese inferior al del PRC podría dar lugar a dificultades en el funcionamiento entre diferentes dominios de red, como en el caso de una interconexión en la que intervienen múltiples proveedores de redes públicas.

El empleo de un reloj común con un nivel de calidad inferior a la de un PRC queda en estudio.

6.1 Requisitos de sincronización de red de paquetes

Los nodos de la tecnología de transmisión orientada a paquetes (por ejemplo, nodos de red ATM) no requieren sincronización alguna para la implementación de la función de conmutación de paquetes. De hecho, en cualquier punto de entrada de un conmutador de paquetes, un dispositivo particular proporcionará la adaptación de paquetes (por ejemplo, adaptación de la temporización de células en el caso de un conmutador ATM) de la señal entrante a la temporización interna. Si se trata de redes ATM, por ejemplo, la idea fundamental al tener que prever diferencias de frecuencia es utilizar relleno a base de células de reserva. Por tanto, los enlaces de transmisión no necesitan en principio estar sincronizados entre sí.

Sin embargo, a medida que la red de paquetes evolucione hacia la integración de aplicaciones basadas en TDM, es decir, cuando transporte un tren a velocidad binaria constante (CBR) por una red de paquetes y cuando interfuncione con redes telefónicas públicas conmutadas (RTPC), proporcionará temporización correcta en las interfaces de tráfico.

Esto significa que los requisitos impuestos a las funciones de sincronización en las redes de paquetes, sobre todo en la frontera de dichas redes, dependen de los servicios llevados por la red. En el caso de servicios basados en TDM, es posible que la IWF exija funcionamiento síncrono de red para que la calidad de funcionamiento sea aceptable.

6.2 Requisitos de temporización TDM

El transporte de señales TDM a través de redes de paquetes requiere que, a la salida de la red de paquetes, las señales cumplan los requisitos de temporización TDM, lo cual es fundamental para posibilitar el interfuncionamiento con equipos TDM.

Estos requisitos son independientes del tipo de información (voz o datos) transportada por la señal TDM.

La adaptación de señales TDM en la red de paquetes se denomina servicio de emulación de circuitos (CES, *circuit emulation services*).

Los requisitos de temporización aplicables son: límites de la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase en las interfaces de tráfico y/o sincronización, exactitud de la frecuencia a largo plazo (lo que puede influir en la calidad de funcionamiento en cuanto a tasa de deslizamientos) y el retardo total (sumamente importante en el caso de servicios en tiempo real, por ejemplo, servicios telefónicos).

6.2.1 Requisitos de temporización PDH

Los requisitos de temporización de la jerarquía digital plesiócrona (PDH) para interfaces de tráfico se refieren sobre todo al comportamiento de la fluctuación de fase, la fluctuación lenta de fase y la tasa de deslizamientos.

A la entrada del elemento de red, en la frontera de una red de paquetes, son aplicables los requisitos sobre tolerancia de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase. A la salida del elemento de red, en el egreso de la red de paquetes, los requisitos aplicables se refieren a la generación de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase.

Esos valores se especifican en [UIT-T G.823] para una red basada en la jerarquía de 2 048 kbit/s y en [UIT-T G.824] para una red basada en la jerarquía de 1 544 kbit/s.

Además, [UIT-T G.822] especifica los objetivos aplicables a propósito de la tasa de deslizamientos. Tal es el caso cuando el reloj del equipo que genera la señal TDM y el reloj utilizado en el equipo que recupera la señal TDM de los paquetes son diferentes y en la aplicación se necesita una memoria intermedia de deslizamientos.

6.2.2 Requisitos de las interfaces de sincronización

Si las señales PDH se definen como interfaces de sincronización, los requisitos de sincronización son más estrictos que los establecidos para las interfaces de tráfico a 2 048 kbit/s y 1 544 kbit/s. Los requisitos de interfaces de sincronización de las interfaces PDH se definen también en [UIT-T G.823] y [UIT-T G.824].

6.2.3 Requisitos de temporización SDH

Cualquier señal en modo de transferencia síncrona (STM-N) debe cumplir lo especificado en [UIT-T G.825]. Los requisitos pertinentes se refieren a la tolerancia a la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase a la entrada del elemento de red en la frontera de una red de paquetes, que recibe los datos STM-N, y a la generación de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase aplicable a la salida del elemento de red que genera tráfico STM-N en el otro extremo de la red de paquetes.

En el caso de señales STM-N, no hay distinción entre interfaces de tráfico e interfaces de sincronización ya que todas las señales STM-N se definen como interfaces de sincronización.

6.3 Ingeniería de red de sincronización en redes de paquetes

La idea motriz de gran parte de este trabajo es satisfacer las necesidades de sincronización de la aplicación o, de manera más general, las necesidades de determinadas tecnologías (por ejemplo, las de las estaciones base del sistema global para las comunicaciones móviles (GSM) y las redes con acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA)). Para ello, los operadores tienen que hacer llegar una señal de temporización de referencia de calidad adecuada a los elementos de red que procesan la aplicación.

Un procedimiento consiste en seguir la estrategia del PRC distribuido (por ejemplo, mediante tecnologías del sistema de posicionamiento global (GPS)). Un procedimiento alternativo se basa en la estrategia del maestro/subordinado. Las reglas de ingeniería para el diseño de la red de sincronización en estos casos están bien estudiadas y documentadas (véase, por ejemplo, [UIT-T G.803]), y según ellas, el transporte subyacente de paquetes (por ejemplo, tramas Ethernet) se tendrá que efectuar con arreglo a las tecnologías con sincronismo existentes (redes PDH o jerarquía digital síncrona (SDH)). Por otro lado, cuando el transporte subyacente se base en tecnologías sin sincronismo (es decir, Ethernet) habrán de considerarse procedimientos diferentes. Todo esto se analizará con más detalle en la cláusula 7.

6.4 Requisitos de temporización en redes periféricas frente a requisitos de temporización en redes medulares

La calidad de funcionamiento demandada puede ser diferente en el caso de que la red de paquetes forme parte de una red de acceso o de que sea la capa subyacente de la red medular.

Se puede pedir que la distribución de una referencia de sincronización por una parte de la red medular cumpla los requisitos estrictos de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase (es decir, [UIT-T G.823], [UIT-T G.824] relativa a interfaces de sincronización y [UIT-T G.825]).

Por otro lado, en una red de accesos se pueden relajar los requisitos facilitando así la distribución de una señal de referencia de temporización con una calidad de funcionamiento suficiente (por ejemplo, inferior al nivel de calidad del PRC) como para soportar los requisitos de temporización del nodo de extremo (por ejemplo, una estación base o un módem UIT-T V.90). En el Apéndice IV se da más información al respecto.

6.5 Dominio PNT y dominio CES

Esta Recomendación considera dos temas principales diferentes:

- 1) cómo transportar una señal de sincronización de reloj de red a través de una red de paquetes:
 - este asunto está relacionado con el dominio PNT y se refiere al reloj de red (véanse las definiciones);
 - en la cláusula 7 se facilitan directrices relativas a este tema;
- 2) cómo transportar una señal de reloj de servicio:
 - este asunto está relacionado con el dominio CES y se refiere al reloj de servicio (véanse las definiciones);
 - la cláusula 8 proporciona directrices relativas a este tema.

En el Anexo B se proporciona información adicional relativa a los dominios PNT y CES.

7 Distribución de la señal de temporización de referencia por redes de paquetes (dominio PNT)

Para cumplir los requisitos de sincronización aplicables, deberá ser posible distribuir una señal de temporización de referencia con unas características de estabilidad de fase y exactitud de frecuencia adecuadas.

En la presente Recomendación se identifican dos tipos de métodos principales:

- 1) métodos plesiócronicos y síncronicos de red (es decir, señal de temporización de referencia distribuida por la capa física síncrona).
- 2) métodos basados en paquetes.

7.1 Métodos plesiócronicos y síncronicos de red

El primer tipo de métodos se refiere al método de PRC distribuido (basado, por ejemplo, en GPS), o al método maestro/subordinado utilizando una capa física síncrona (por ejemplo, STM-N), véase la Figura 1. Estos métodos están ampliamente implementados para sincronizar las redes TDM.

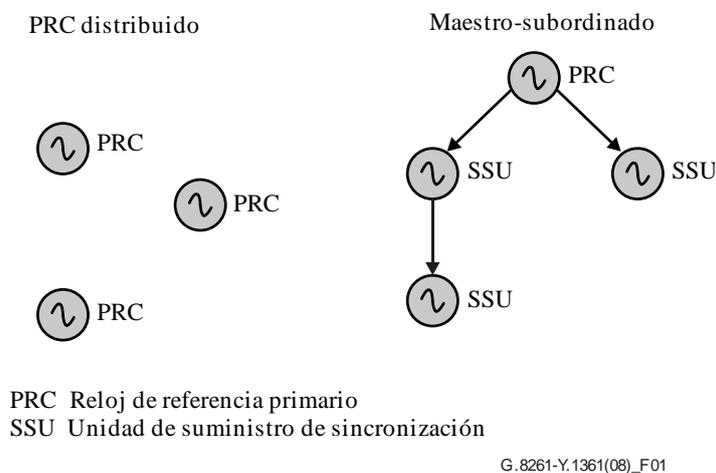


Figura 1 – Métodos de PRC distribuido y maestro-subordinado

Las redes Ethernet funcionan libremente (± 100 ppm). No obstante, en el caso de Ethernet síncrona es posible la introducción de una arquitectura de sincronización maestro/subordinado en la capa física. En este caso, la capa física puede utilizarse para proporcionar la distribución de la señal de temporización de referencia por redes de paquetes, desde el nivel central hasta el nivel de acceso. Este método se puede utilizar también con objeto de facilitar la recuperación de la temporización en las IWF para servicios CBR transportados por redes de paquetes (operaciones síncronas de red). Podría utilizarse además para proporcionar una señal de temporización de referencia descendiendo hasta el equipo de acceso periférico en una red Ethernet pura que soporte Ethernet síncrona.

En la cláusula 7.1.1 se detalla un método de alto nivel con el que conseguir una red Ethernet síncrona.

7.1.1 Redes Ethernet síncronas

En la Figura 2 se presenta el concepto general de entrega de un reloj de capa física desde el conmutador Ethernet por Ethernet síncrona.

En el conmutador Ethernet se inyecta una señal de temporización de referencia rastreada en el conmutador de Ethernet utilizando un puerto de reloj externo. Esta señal se extrae y se procesa mediante una función de sincronización antes de inyectar temporización en el tren de bits de Ethernet. La función de sincronización proporciona filtrado y quizás requiera actuación en régimen

libre. El reloj que da soporte a las redes Ethernet síncronas se denomina reloj de equipo Ethernet síncrona (EEC), véase [UIT-T G.8262].

Como se muestra en la figura, en la distribución de la señal de tiempo de referencia pueden participar varios conmutadores. En tales casos, la función de sincronización dentro de estos conmutadores Ethernet debe ser capaz de recuperar el "tiempo en la línea" de sincronización a partir del tren de bits entrante.

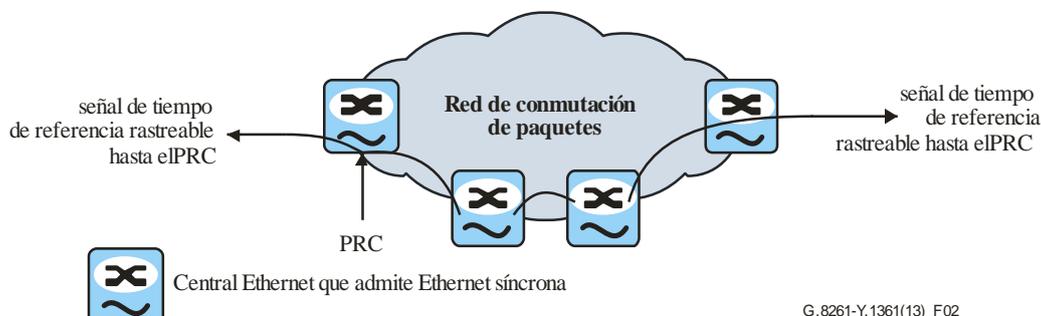


Figura 2 – Ejemplo de red de sincronización maestro-subordinado basada en Ethernet síncrona

En tanto que parte de la arquitectura, debería establecerse una distinción entre el reloj de red y el reloj de servicio que se describen a continuación.

El término Ethernet síncrona aplica al reloj de red que controla la velocidad binaria después del conmutador de Ethernet. Este reloj debe ser conforme a [UIT-T G.8262].

En la tecnología Ethernet existente, el servicio es efectivamente asíncrono. En Ethernet síncrona, se seguirá estableciendo la correspondencia de los servicios Ethernet existentes dentro y fuera de la capa física Ethernet a las velocidades apropiadas generadas por los relojes de servicio.

En el Anexo A se describe la arquitectura propuesta para las redes de sincronización basadas en Ethernet síncrona.

NOTA – Los equipos de Ethernet síncrona deben cumplir [UIT-T G.781] que especifica la capa de sincronización y [UIT-T G.8264] que especifica el mensaje de estado de sincronización (SSM) para Ethernet síncrona.

7.2 Métodos basados en paquetes

La segunda clase de métodos se basa en la información de temporización que transportan los paquetes. En este caso, la temporización podría llevarse a cabo mediante mensajes de indicación de tiempo especializados, como se muestra en la Figura 3. En caso de que la capa física no sea síncrona, ésta es la única alternativa al método de PRC distribuido. Los principios subyacentes de tales métodos se resumen en el Apéndice XII.

La indicación de tiempo puede basarse en varios protocolos, como por ejemplo el protocolo de tiempo de red (NTP) y el protocolo de tiempo de precisión (PTP).

El protocolo PTP utiliza la indicación de tiempo para sincronizar relojes en la red en una jerarquía maestro-subordinado. Puede utilizarse para distribuir información sobre la frecuencia y/o la hora local. El PTP se concibió en principio para la automatización industrial y las industrias de pruebas y mediciones, aunque en la nueva versión (véase la cláusula XII.4) se han introducido modificaciones para que pueda utilizarse en las redes de telecomunicaciones.

El NTP y el protocolo temporal de red simple (SNTP) son protocolos que se han venido utilizando para distribuir información sobre la hora local. Estos mismos paquetes también pueden utilizarse para la distribución de información sobre frecuencias.

Los métodos basados en paquetes son de naturaleza adaptativa, por cuanto no necesitan una referencia de sincronización que abarque toda la red. Por consiguiente, la calidad de funcionamiento se ve afectada por la variación del retardo de paquetes en la red (véase la cláusula 10). Para minimizar el efecto de las redes que utilizan paquetes PTP o NTP, se necesitan algoritmos específicos en el lado cliente, dependiendo de la precisión necesaria (véanse los Apéndices III y IV).

Para mejorar la calidad de funcionamiento de estos métodos, puede considerarse la posibilidad de imponer requisitos adicionales en los nodos intermedios. Cabe señalar específicamente que esta opción no siempre es viable cuando se emplean equipos tradicionales.

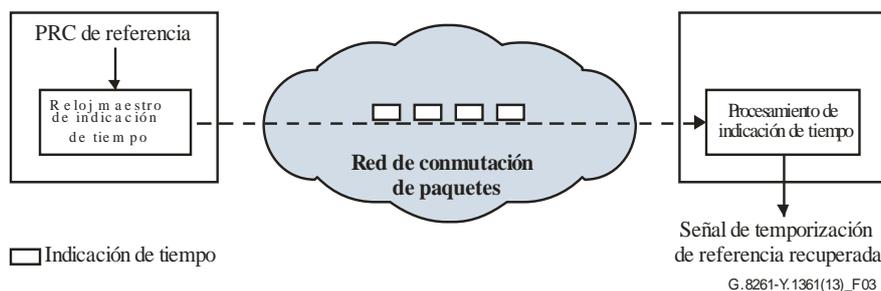


Figura 3 – Ejemplo de método basado en paquetes con distribución de la señal de temporización de referencia mediante la indicación de tiempo

NOTA – Para mayores detalles sobre los métodos basados en paquetes y los requisitos conexos véase [UIT-T G.8261.1], [UIT-T G.8263], [UIT-T G.8265] y [UIT-T G.8265.1]. La cláusula 12.2.2 proporciona información adicional y referencias a las Recomendaciones conexas sobre métodos basados en paquetes.

El reloj que da soporte a los métodos basados en paquetes se denomina reloj de equipo basado en paquetes (PEC), (véase el Anexo B).

8 Recuperación de la temporización para servicios a velocidad binaria constante transportados por redes de paquetes (dominio CES)

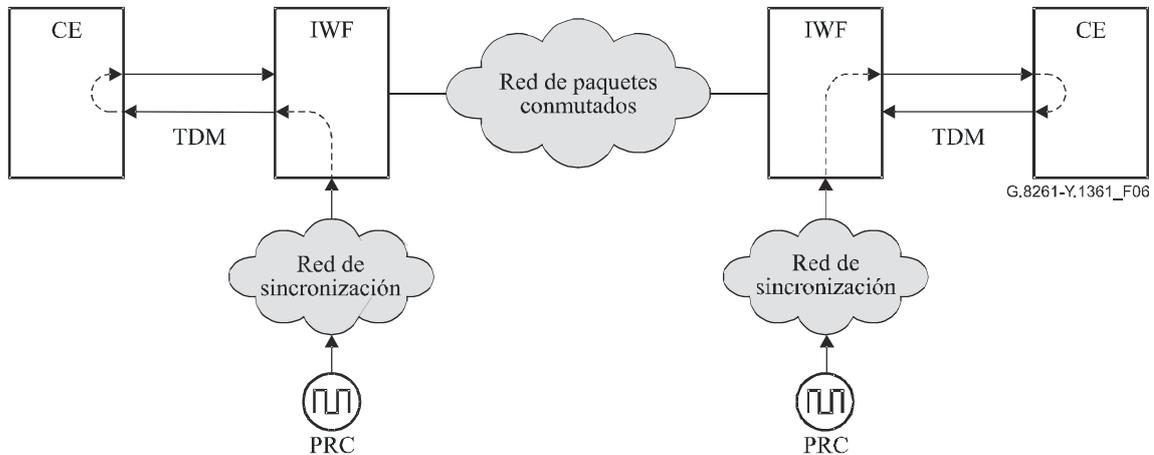
Los servicios a velocidad binaria constante (CBR) (por ejemplo, el de señal TDM de circuito emulado) requieren que la temporización de la señal sea similar en ambos extremos de la red de paquetes (dominio CES) y sea tratada por la IWF responsable de la entrega del tren a velocidad binaria constante. La noción de preservación del reloj de servicio se refiere a que la frecuencia del reloj de servicio entrante ha de ser repetida como frecuencia del reloj de servicio saliente cuando se considere en términos de valor medio a largo plazo. Ello no significa que la fluctuación lenta de fase en la señal TDM entrante sea repetida en la señal TDM saliente.

Los cuatro métodos operativos identificados en esta Recomendación se describen en las cláusulas que siguen:

- 1) funcionamiento síncrono de red;
- 2) métodos diferenciales;
- 3) métodos adaptativos;
- 4) reloj de referencia disponible en los sistemas de extremo TDM.

8.1 Funcionamiento síncrono de red

Este método hace referencia a un funcionamiento plenamente síncrono de red utilizando un reloj obtenido a partir de una red y rastreado hasta un PRC o un PRC local (por ejemplo, un GPS) como reloj de servicio (véase la Figura 4). Esto implica la disponibilidad de una referencia de PRC. Hay que destacar que este método no preserva la temporización del servicio.



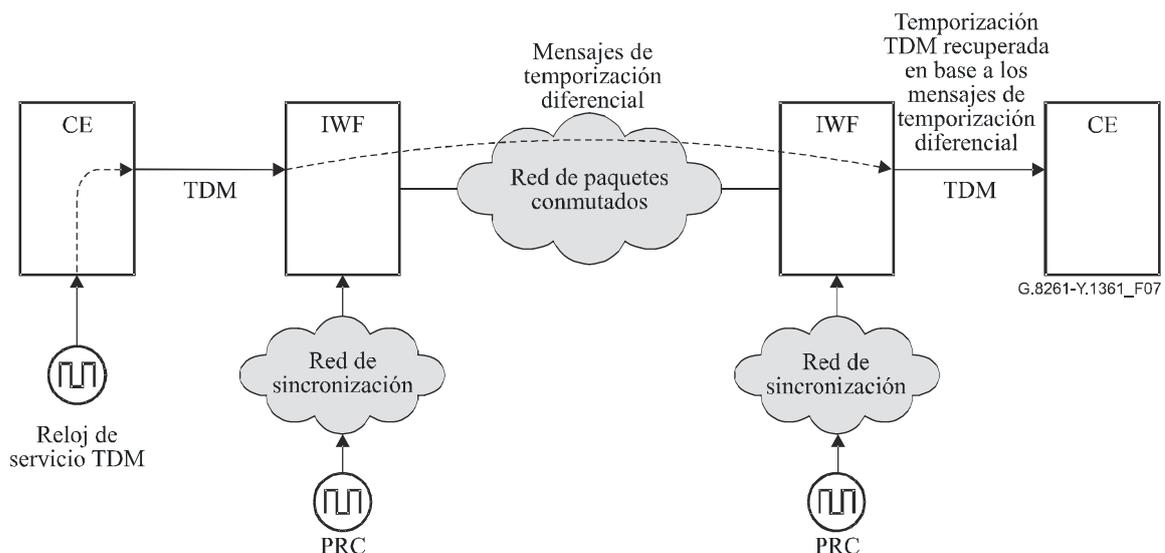
Los dos PRC pueden tener también su origen en la misma fuente.

Figura 4 – Ejemplo de funcionamiento síncrono de red

NOTA – La señal de temporización de referencia a la entrada de la IWF deberá ser conforme a las interfaces de sincronización definidas en [UIT-T G.823] y [UIT-T G.824].

8.2 Métodos diferenciales

De acuerdo con los métodos diferenciales, la diferencia entre el reloj de servicio y el reloj de referencia se codifica y transmite a través de la red de paquetes (véase la Figura 5). El reloj de servicio se recupera en el extremo lejano de la red de paquetes haciendo uso de un reloj de referencia común. El método de indicación de tiempo residual síncrona (SRTS, *synchronous residual time stamp*) de [b-ITU-T I.363.1] es un ejemplo de este tipo de métodos. Hay que destacar que este método puede preservar la temporización del servicio.



Los dos PRC pueden tener también su origen en la misma fuente.

Figura 5 – Ejemplo de funcionamiento de la recuperación de la temporización basado en métodos diferenciales

NOTA 1 – Los métodos diferenciales pueden actuar con relojes de referencia IWF que no son rastreables hasta un PRC. El uso de relojes no rastreables hasta un PRC depende de la aplicación y no está dentro del alcance de la presente Recomendación.

NOTA 2 – La señal de temporización de referencia a la entrada de la IWF deberá ser conforme a las interfaces de sincronización definidas en [UIT-T G.823] y [UIT-T G.824].

8.3 Métodos adaptativos

En los métodos adaptativos, la temporización puede ser recuperada a partir del tiempo que transcurre entre llegadas de los paquetes o del nivel de llenado de la memoria intermedia de fluctuación de fase. Hay que destacar que este método preserva la temporización del servicio (véase la Figura 6).

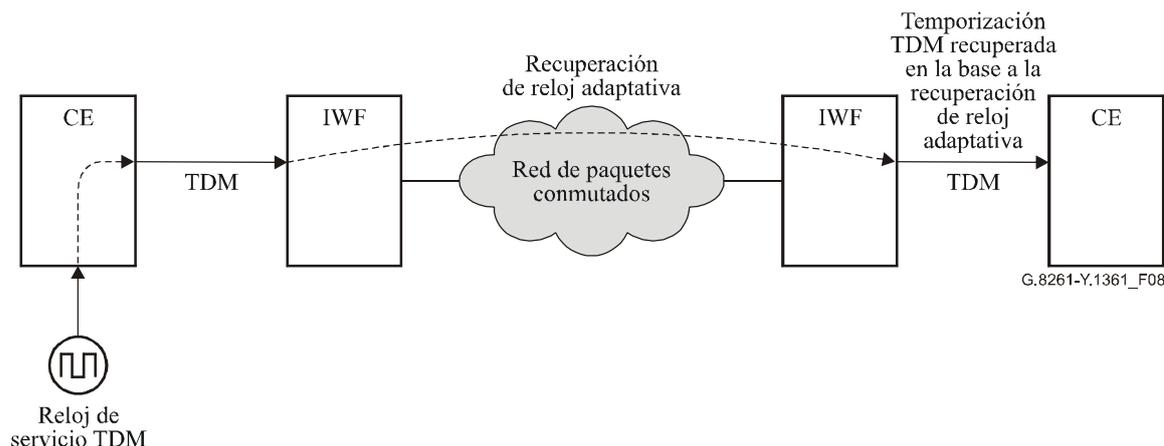
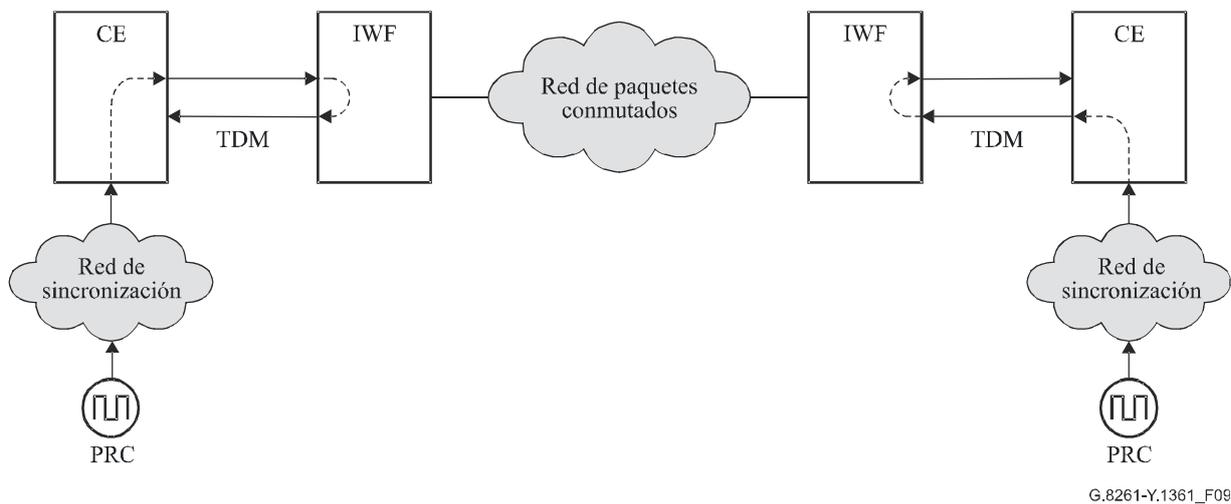


Figura 6 – Ejemplo de método adaptativo

8.4 Reloj de referencia disponible en los sistemas de extremo TDM

Cuando en cada sistema de extremo TDM se dispone de un reloj de referencia se trata de un caso trivial ya que ambos sistemas de extremo tienen acceso directo a la referencia de temporización y ajustarán la temporización de la señal que abandona la IWF. Por consiguiente, no es necesario recuperar la temporización.

La utilización de temporización en bucle en la IWF de la interfaz TDM es un ejemplo de implementación de este método (véase la Figura 7). Una situación en que podría aplicarse este método es, por ejemplo, cuando dos dominios RTPC están conectados a través de una red de paquetes. En este caso, tanto el transmisor como el receptor son conmutadores digitales donde se precise controlar deslizamientos.



G.8261-Y.1361_F09

Figura 7 – Ejemplo de señal de temporización de referencia PRC disponible en los sistemas de extremo TDM

9 Límites de red

9.1 Límites de red CES

En esta cláusula se definen los límites de red en los enlaces TDM a la salida de la CES IWF (salida del selector de referencia en la CES IWF de la Figura B.4).

Los límites de red de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase especificados actualmente en las Recomendaciones del UIT-T conexas (es decir, [UIT-T G.823] y [UIT-T G.824]) se han de cumplir plenamente en todos los escenarios pertinentes a los efectos de la presente Recomendación.

Esta cláusula describe tres casos de instalación diferentes de un segmento o isla CES. En ella especifican los límites de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase para interfaces de tráfico TDM (excluyendo las señales STM-N) llevado por el segmento CES en cada uno de esos casos de instalación.

Los límites de red aplicables a interfaces de sincronización (según se especifica en [UIT-T G.823] y en la cláusula 6 de [UIT-T G.824]) y a las señales STM-N llevadas por redes de paquetes quedan en estudio.

Cabe señalar que, en algunos casos, señales cuya calidad se atiene a la cláusula 5 de [UIT-T G.823] y de la cláusula 5 de [UIT-T G.824] (interfaces de tráfico) y son rastreables hasta un PRC, se pueden utilizar como señales de temporización de referencia hacia equipos de extremo capaces de tolerar esas señales y de funcionar correctamente (el modelo del caso de instalación 2 es un ejemplo de este escenario).

NOTA – Los límites de red proporcionados por esta cláusula serán válidos en situaciones normales (es decir, en ausencia de condiciones de fallo o acciones de mantenimiento). La especificación del porcentaje de tiempo durante el cual esos límites son aplicables queda fuera del alcance de la presente Recomendación.

9.1.1 Modelo de red que subyace en los límites de red

Para el transporte de señales PDH, los modelos de la Figura A.1 de [UIT-T G.823] y la Figura A.1 de [UIT-T G.824] son el punto de partida al considerar la inserción de un segmento CES. El presupuesto de fluctuación lenta de fase asignado al segmento CES debe ser sólo una parte de todo el presupuesto de fluctuación lenta de fase que se especifica en [UIT-T G.823] o [UIT-T G.824], ya que el presupuesto de fluctuación lenta de fase total ha de ser compartido con el resto de la red.

Dependiendo de dónde esté situado el segmento CES, podrán aplicarse requisitos diferentes de fluctuación lenta de fase. Se han identificado varios modelos de instalación del CES; los modelos se definen en las cláusulas 9.1.1.1, 9.1.1.2 y 9.1.1.3.

NOTA 1 – Las figuras de esta cláusula no muestran los detalles de cómo se recupera la temporización la IWF o de cómo se distribuye la temporización en la red de paquetes. Para más detalles al respecto, véanse las cláusulas 7 y 8.

NOTA 2 – En estos modelos sólo está presente una isla CES ya que se pretende asignar presupuesto de fluctuación lenta de fase únicamente al segmento de tecnología CES. Podría haber varios sistemas CES en tanto en cuanto su generación de fluctuación lenta de fase acumulada estuviera dentro del presupuesto asignado al CES.

La acumulación de fluctuación lenta de fase a través de múltiples islas queda en estudio.

9.1.1.1 Caso de instalación 1

Cuando el segmento CES está situado como una isla entre los dos conmutadores del modelo de referencia de [UIT-T G.823], el presupuesto de fluctuación lenta de fase se calcula tomando como referencia el modelo de la Figura 8. El modelo está basado en las Figura A.1 de [UIT-T G.823] y en la Figura A.1 de [UIT-T G.824], en donde una de las islas SDH es reemplazada por la red CES.

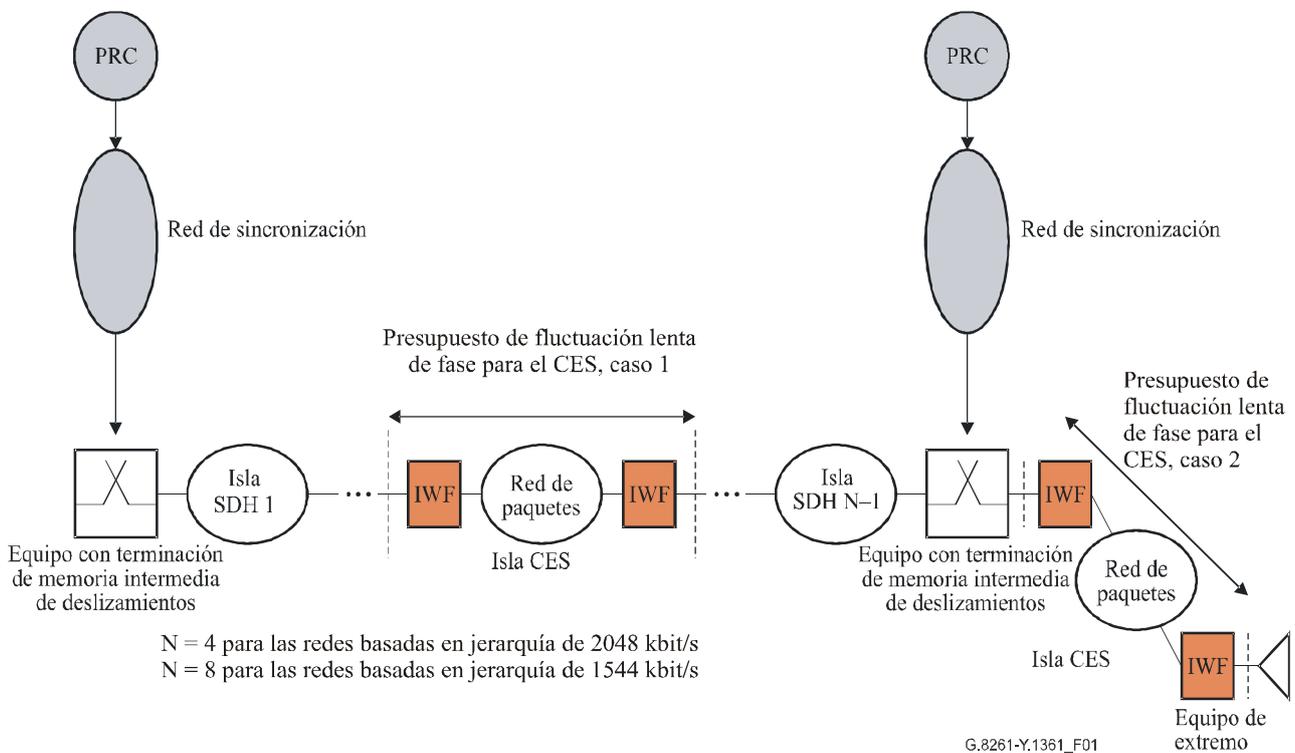


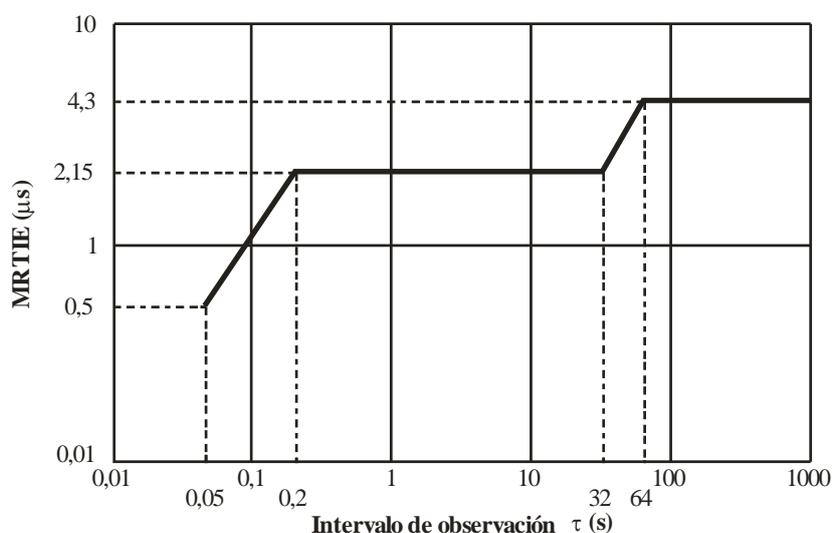
Figura 8 – Modelos de red para tráfico y acumulación de fluctuación lenta de fase de reloj, casos de instalación 1 y 2

En el Cuadro 1 se define el presupuesto de fluctuación lenta de fase para señales a 2 048 kbit/s, expresado en forma de máximo error relativo en el intervalo de tiempo (MRTIE). En la Figura 9 se ilustra la especificación global resultante.

Cuadro 1– Caso de instalación 1: presupuesto de fluctuación lenta de fase de interfaz a 2 048 kbit/s

Intervalo de observación τ (s)	Requisito MRTIE (μ s)
$0,05 < \tau \leq 0,2$	$10,75 \tau$
$0,2 < \tau \leq 32$	$9 \times 0,24 = 2,15$
$32 < \tau \leq 64$	$0,067 \tau$
$64 < \tau \leq 1\ 000$	$18 \times 0,24 = 4,3$

Cabe señalar que en el caso de configuración asíncrona se ha de considerar un intervalo de observación máximo de 80 s.
La especificación entre 80 s y 1 000 s para las interfaces asíncronas queda en estudio.



G. 8261-Y.1361(13)_F09

Figura 9 – Caso de instalación 1: presupuesto de fluctuación lenta de fase de interfaz a 2 048 kbit/s

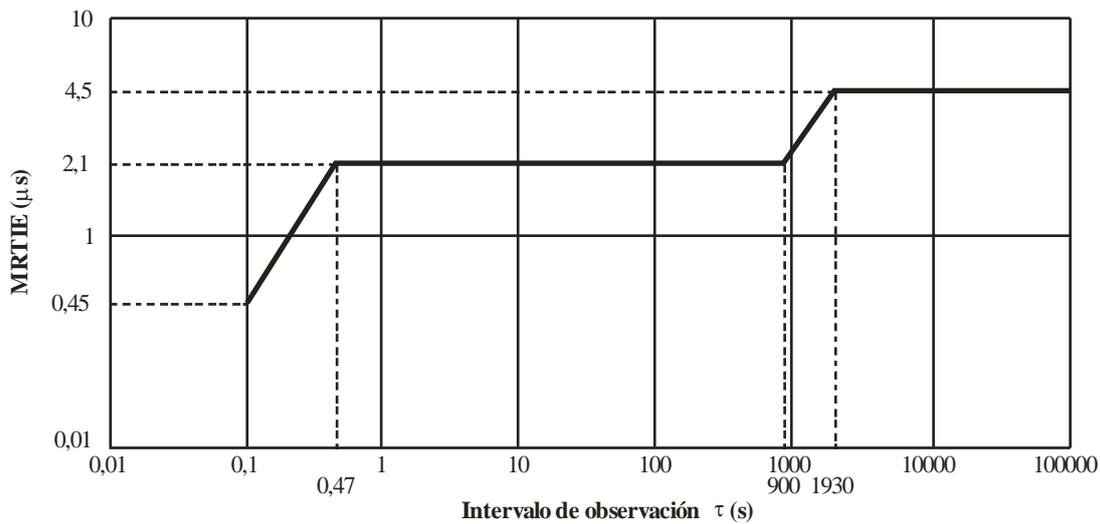
Los límites de red de fluctuación de fase a 2 048 kbit/s deberán cumplir lo especificado en la cláusula 5.1 de [UIT-T G.823].

En el Cuadro 2 se define el presupuesto de fluctuación lenta de fase para señales a 1 544 kbit/s, expresado en forma de máximo error en el intervalo de tiempo (MTIE). En la Figura 10 se ilustra la especificación global resultante.

Cuadro 2 – Caso de instalación 1: presupuesto de fluctuación lenta de fase de interfaz a 1 544 kbit/s

Intervalo de observación τ (s)	Requisito MTIE (μ s)
$\tau \leq 0,1$	Ningún requisito (véase Nota)
$0,1 < \tau \leq 0,47$	$4,5 \tau$
$0,47 < \tau \leq 900$	2,1
$900 < \tau \leq 1\ 930$	$2,33 \times 10e^{-3} \tau$
$1\ 930 < \tau \leq 86\ 400$	4,5

NOTA – Esta región queda cubierta por los requisitos de fluctuación de fase.



G. 8261-Y.1361(13)_F10

Figura 10 – Caso de instalación 1: presupuesto de fluctuación lenta de fase de interfaz a 1 544 kbit/s

Los límites de red de fluctuación de fase a 1 544 kbit/s deberán cumplir lo especificado en la cláusula 5.1 de [UIT-T G.824].

NOTA – Los límites de red para las otras señales PDH (es decir, señales a 34 368 kbit/s, 44 736 kbit/s y 139 264 kbit/s) llevadas por los segmentos CES quedan en estudio.

9.1.1.2 Caso de instalación 2

Aplicación A

Cuando el segmento CES está situado fuera de los elementos de red que contienen las memorias intermedias de deslizamientos (véase la Figura 8), se ha de tomar en consideración el efecto del ajuste de la temporización. A la salida de este equipo, la temporización de la señal de tráfico cumplirá el límite de red para una señal de sincronización, que es más estricto que para una señal de tráfico.

El presupuesto de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase del segmento CES en este caso es la diferencia entre el límite de red a 2 048 kbit/s (véase la Figura 1 de [UIT-T G.823]) y el límite de red de la interfaz de sincronización a 2 048 kbit/s (véase la Figura 10 de [UIT-T G.823]). En el Cuadro 3 se da el límite de fluctuación lenta de fase, expresado en MRTIE. En la Figura 11 se ilustra la especificación global resultante.

Cuadro 3 – Caso 2A: presupuesto de fluctuación lenta de fase de interfaz a 2 048 kbit/s

Intervalo de observación τ (s)	Requisito MRTIE (μ s)
$0,05 < \tau \leq 0,2$	40τ
$0,2 < \tau \leq 32$	8
$32 < \tau \leq 64$	$0,25 \tau$
$64 < \tau \leq 1\ 000$ (Nota)	16

NOTA – En el caso de configuración asíncrona, se ha de considerar un intervalo de observación máximo de 80 s.
La especificación entre 80 y 1 000 s para las interfaces asíncronas queda en estudio.

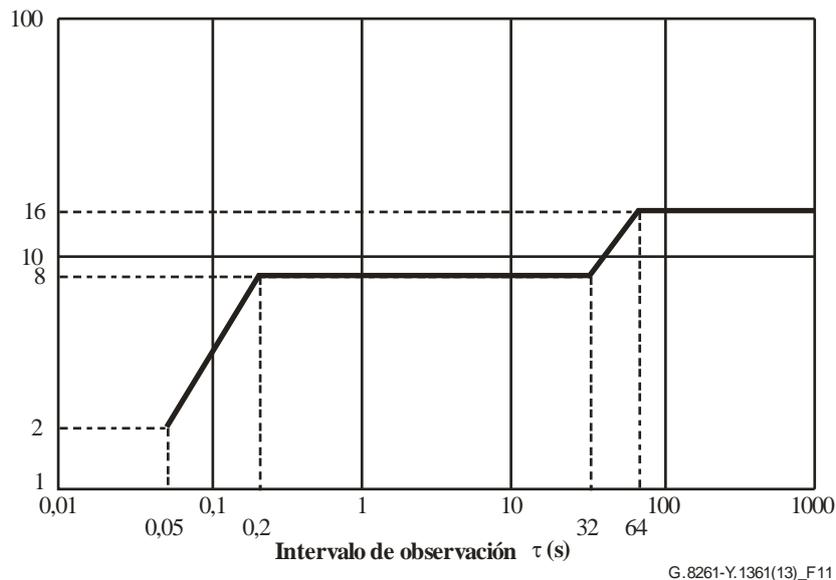


Figura 11 – Caso 2A: presupuesto de fluctuación lenta de fase de interfaz a 2 048 kbit/s

En el caso de interfaces a 1 544 kbit/s, los requisitos del Caso 1 también son válidos para las aplicaciones del Caso 2.

NOTA 1 – Los límites de red para las otras señales PDH (es decir, señales a 34 368 kbit/s, 44 736 kbit/s y 139 264 kbit/s) llevadas por los segmentos CES quedan en estudio.

Aplicación B

En este caso, la aplicación recupera la temporización mediante la señal TDM, por lo que no hay fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase diferencial entre el reloj y los datos distinta de la que hay dentro de la anchura de banda de la recuperación del reloj, puesto que los datos del reloj se extraen de la misma señal. El presupuesto de fluctuación lenta de fase del segmento CES sólo está limitado por la calidad de temporización pedida por la aplicación (por ejemplo, los requisitos de la estación base) y no forzosamente por [UIT-T G.823].

NOTA 2 – Esta aplicación sólo es válida para aplicaciones con una sola señal; si se reciben dos señales la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase para una de esas señales podrían diferir de la del reloj extraído de la otra señal.

9.1.1.3 Caso de instalación 3

Cuando se implementa el ajuste de la temporización a la salida de las islas SDH como se muestra en la Figura 12, la amplitud de ruido a la salida PDH es la de una interfaz de sincronización. Esto permite incrementar el presupuesto de fluctuación lenta de fase hasta el de la aplicación A del caso de instalación 2 en algunas configuraciones. Cabe señalar que, en este caso, el reloj de servicio no se preserva de extremo a extremo.

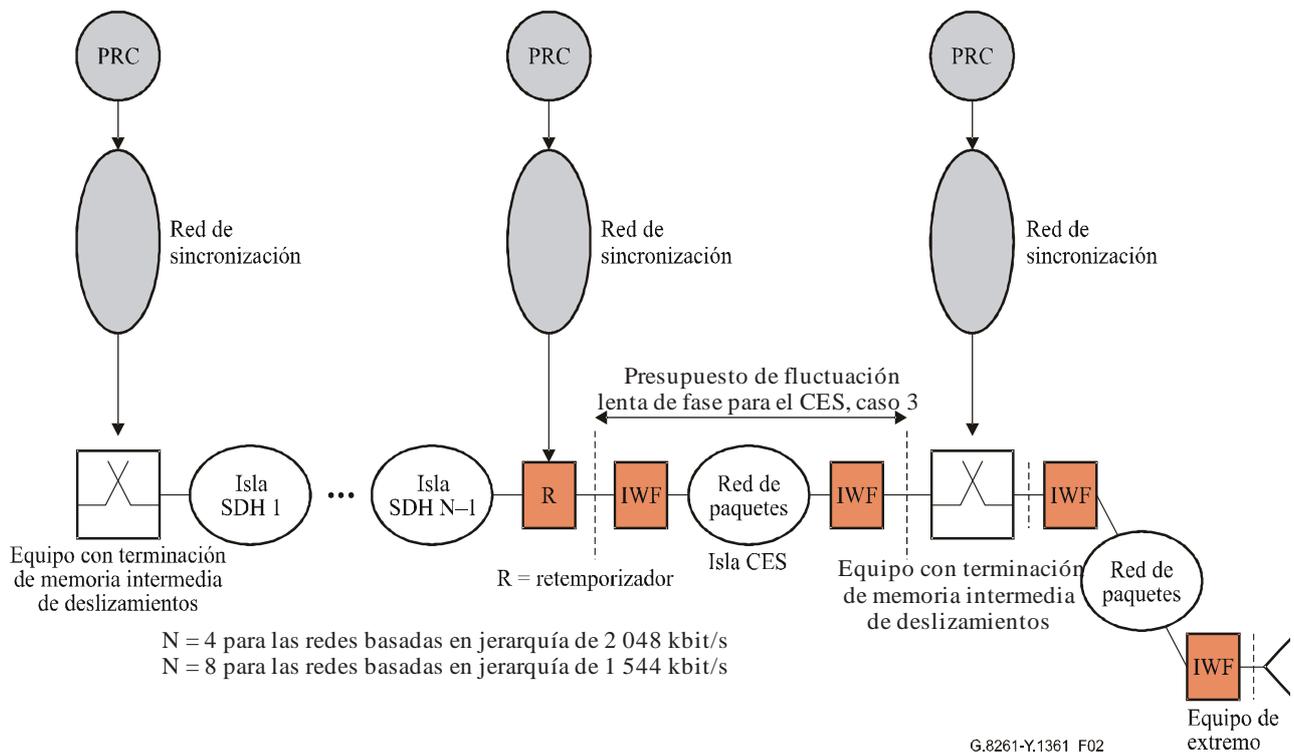


Figura 12 – Escenario del caso de instalación 3

9.2 Límites de red PNT

Los modelos de red y los límites de red correspondientes se definen por separado para el caso de la Ethernet síncrona (interfaz EEC) y en el caso de los relojes basados en paquetes (interfaz PEC). En particular, los detalles sobre las cadenas de sincronización basadas en Ethernet síncrona (por ejemplo, número de relojes en la cadena de sincronización) están de acuerdo con los modelos de [UIT-T G.803], [UIT-T G.823] y [UIT-T G.824].

En la Figura D.1 se proporcionan algunos ejemplos. Como se indica en estos ejemplos, los límites de red están definidos con el fin de soportar también implementaciones híbridas, en las que la SDH se mezcla con Ethernet síncrona.

NOTA – Los límites de red facilitados en esta cláusula serán válidos en condiciones normales (por ejemplo, cuando no existan condiciones de fallo o actuaciones de mantenimiento). Especificar la proporción de tiempo durante la que aplican esos límites está fuera del alcance de la presente Recomendación.

9.2.1 Límites de red en la interfaz EEC

En esta cláusula se definen los límites de red a la salida del EEC en una cadena de sincronización.

NOTA – Normalmente estos límites se aplican en todos los puntos en la red de sincronización. En algunos casos prácticos, principalmente en la red de acceso, podría ser posible recuperar la temporización a partir de una señal Ethernet que esté generando fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase de conformidad con las características de tolerancia del equipo conectado (véase el Apéndice IV sobre ejemplos de aplicaciones pertinentes). El uso de un enlace de Ethernet que no cumpla los límites definidos en esta cláusula es responsabilidad del operador.

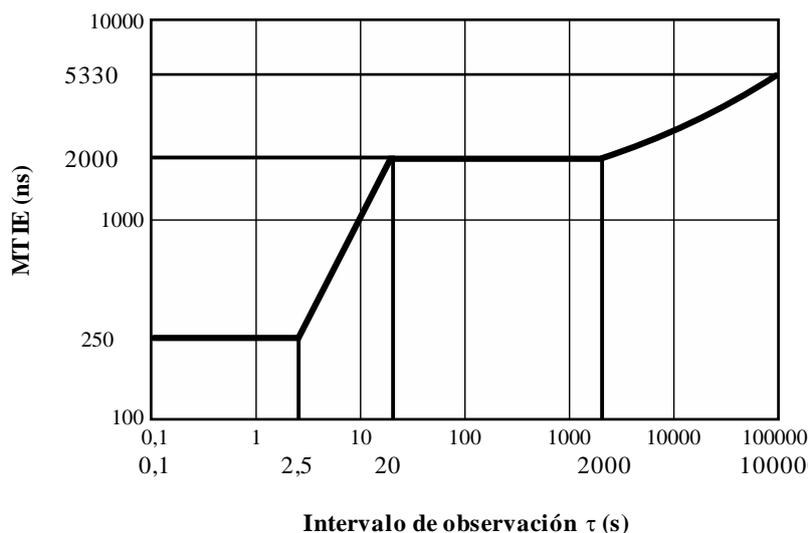
9.2.1.1 Límites de red para la fluctuación lenta de fase en la interfaz EEC-Opción 1

En el Cuadro 4 se da el límite de red para fluctuación lenta de fase en la interfaz de salida de un EEC-1, expresado en forma de MTIE. En la Figura 13 se ilustra la especificación global resultante.

NOTA – Los valores están referidos al tiempo universal coordinado (UTC), es decir, incluyen la fluctuación lenta de fase del PRC.

Cuadro 4 – Límite de red para fluctuación lenta de fase en interfaces EEC-Opción 1 expresado en MTIE

Intervalo de observación τ (s)	Requisito de MTIE (ns)
$0,1 < \tau \leq 2,5$	250
$2,5 < \tau \leq 20$	100τ
$20 < \tau \leq 2\,000$	2000
$\tau > 2\,000$	$433 \tau^{0,2} + 0,01 \tau$



G.8261-Y.1361(08)_F13

Figura 13 – Límite de red para fluctuación lenta de fase (MTIE) en interfaces EEC-Opción 1

En el Cuadro 5 se da el límite de red para fluctuación lenta de fase en la interfaz de salida de un EEC-Opción 1, expresado en forma de desviación de tiempo (TDEV). En la Figura 14 se ilustra la especificación global resultante.

Cuadro 5 – Límite de red para fluctuación lenta de fase en interfaces EEC-Opción 1 expresado en TDEV

Intervalo de observación τ (s)	Requisito de TDEV (ns)
$0,1 < \tau \leq 17,14$	12
$17,14 < \tau \leq 100$	$0,7 \tau$
$100 < \tau \leq 1\,000\,000$	$58 + 1,2 \tau^{0,5} + 0,000\,3 \tau$

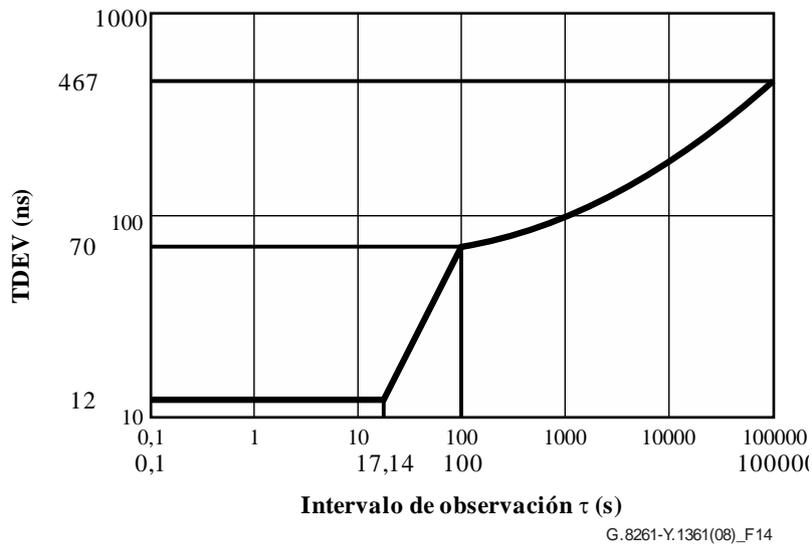


Figura 14 – Límite de red para fluctuación lenta de fase (TDEV) en interfaces EEC-Opción 1

9.2.1.2 Límites de red para la fluctuación lenta de fase en la interfaz EEC-Opción 2

En el Cuadro 6 se da el límite de red para la fluctuación lenta de fase en la interfaz de salida de un EEC-Opción 2, expresado en forma de TDEV. En la Figura 15 se ilustra la especificación global resultante.

Cuadro 6 – Límite de red para fluctuación lenta de fase (TDEV) en EEC-Opción 2

Intervalo de observación τ (s)	TDEV (ns)
$0,05 < \tau \leq 10$	10
$10 < \tau \leq 1\ 000$	$3,1623 \tau^{0,5}$

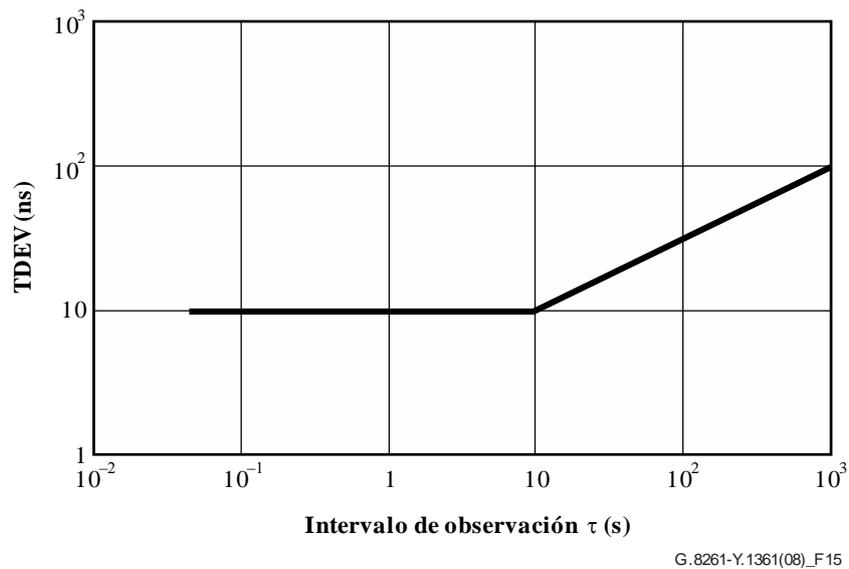


Figura 15 – Límite de red para fluctuación lenta de fase (TDEV) en EEC-Opción 2

La Figura 16 muestra la cadena de referencia de n ($n \leq 20$) EEC junto con sus salidas de sincronización.

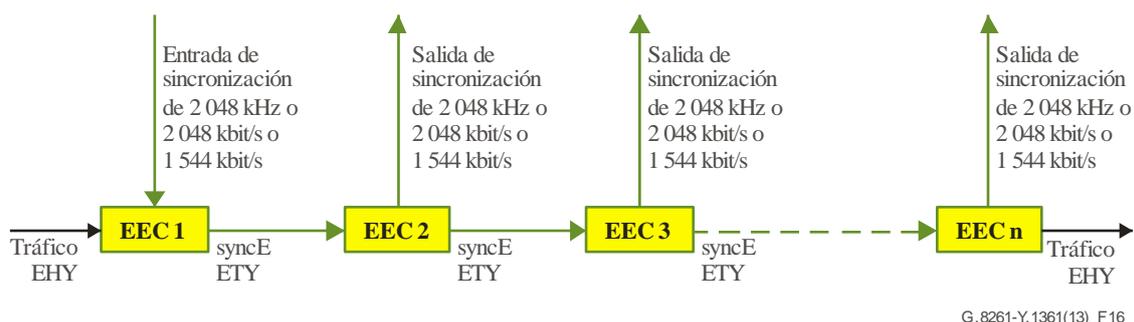


Figura 16 – Cadena de EEC

9.2.2 Límites de red de interfaces PEC

En esta cláusula se definen los límites de red a la salida del PEC (véase la Figura B.5).

Esta cláusula describe dos escenarios de instalación diferentes para un segmento o isla PNT con relojes de equipos basados en paquetes (PEC). En esta cláusula se definen los límites de fluctuación de fase y de fluctuación lenta de fase para las interfaces PEC en cada uno de estos escenarios. Los límites de red aplicables a la entrada del PEC figuran en [UIT-T G.8261.1].

9.2.2.1 Modelo de red que subyace en los límites de red PEC

Los modelos de la Figura 8-5 de [UIT-T G.803] y la Figura B.3 de [UIT-T G.823] son el punto de partida al considerar la inserción de un segmento PNT para el transporte de señales de temporización de referencia.

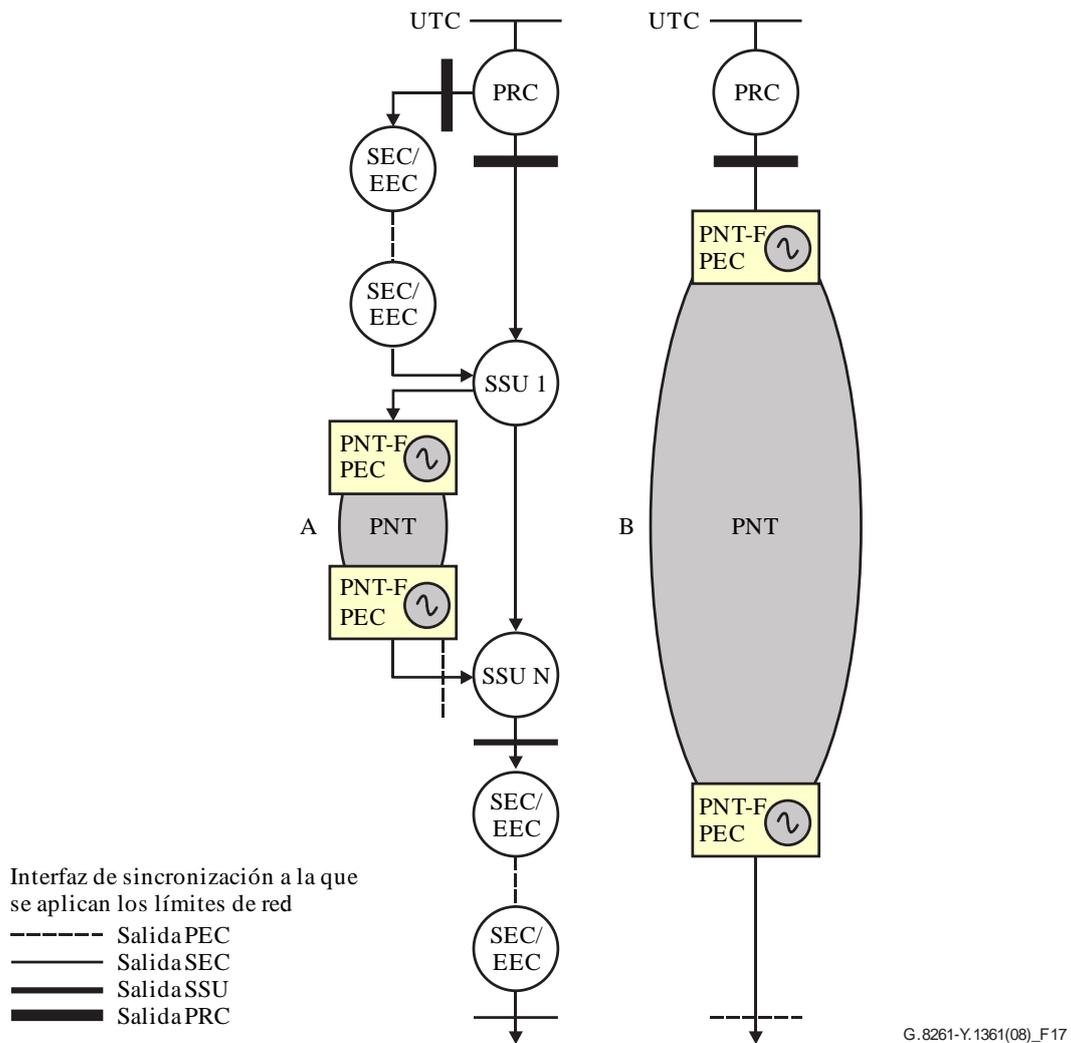
Dependiendo de dónde esté situado el segmento PNT, podrán aplicarse requisitos diferentes de fluctuación lenta de fase. Se han identificado varios modelos de instalación de PNT que se definen en esta cláusula.

NOTA – Las figuras de esta cláusula no muestran los detalles de cómo se distribuye la temporización en la red de paquetes. Para más detalles al respecto, véase la cláusula 7.

Caso de instalación 1 de PNT

En la Figura 17 se muestra el modelo para el caso de instalación 1 de PNT. Este caso se refiere a la red de sincronización maestro-subordinado que, en lugar de utilizar una parte o todas las tecnologías TDM (por ejemplo, SDH o PDH), recurre a tecnologías de red de paquetes.

La figura de la izquierda (modelo A) muestra un ejemplo en el que parte de la red de sincronización se sustituye por un segmento PNT y la figura de la derecha (modelo B) se refiere a una red de sincronización completamente implementada en un segmento PNT.



NOTA – El PEC es el reloj PNT-F que se emplea en este modelo. La implantación de otros relojes en la red (por ejemplo, de parte del segmento PNT basado en EEC y parte en PEC) será objeto de un estudio ulterior.

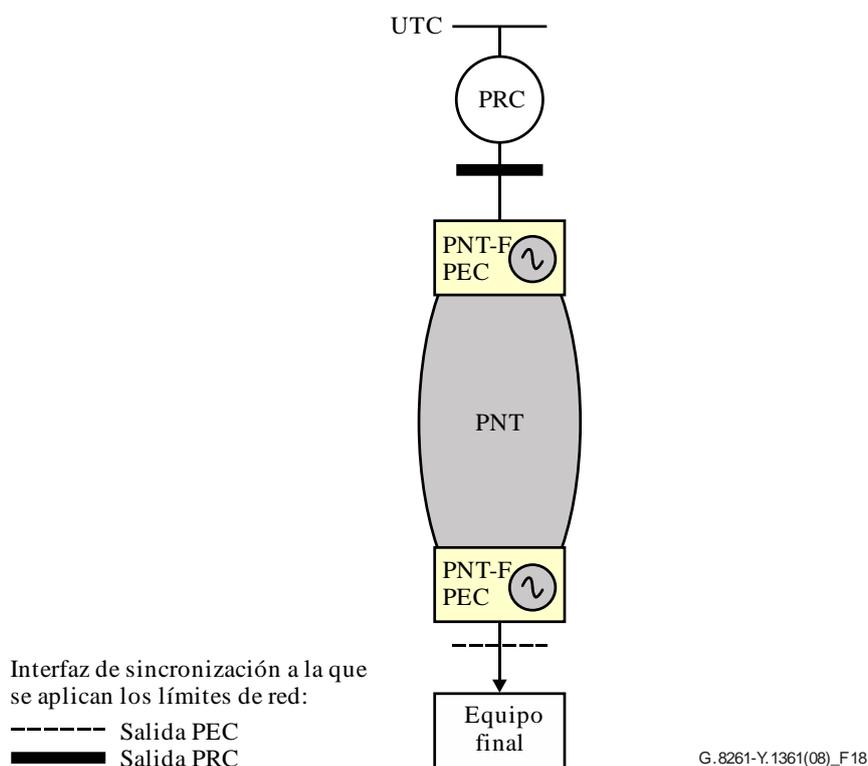
Figura 17 – Parte que sustituye el segmento PNT (modelo A) o todos (modelo B) de la red de sincronización basada en TDM

Los límites de red EEC se definen en la cláusula 9.2.1 (Límites de red en la interfaz EEC) aplicables tanto al modelo A como al B.

Caso de instalación 2 de PNT

En la Figura 18 se muestra el modelo para el caso de instalación 2 de PNT.

Este caso guarda relación con la distribución de temporización hacia aplicaciones de los equipos de extremo (por ejemplo, estaciones base transceptoras (BTS), véase el Apéndice IV).



NOTA – El PEC es el reloj PNT-F que se emplea en este modelo. La implantación de otros relojes de red (por ejemplo, de parte del segmento PNT basado en EEC y en parte en PEC), será objeto de un estudio ulterior.

Figura 18 – PNT que distribuye temporización hacia una aplicación de extremo

En el caso de instalación 2 los requisitos están determinados por los equipos de extremo. Se expresan en términos de la tolerancia y en términos del grado de precisión que requiera la aplicación para su correcto funcionamiento.

Por consiguiente, en el caso de instalación 2, se permite que el segmento PNT genere fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase hasta los límites fijados por las aplicaciones de extremo (por ejemplo, límites de red para las interfaces de tráfico definidas en la cláusula 5 de [UIT-T G.823] o en la cláusula 5 de [UIT-T G.824]).

En la cláusula IV.2.3 se describen otros ejemplos de límites de red que aplican concretamente a las aplicaciones inalámbricas.

10 Repercusión de las degradaciones de la red de paquetes en la distribución de la temporización y la recuperación del reloj de servicio

En esta cláusula se examinan las diferentes degradaciones de las redes de paquetes que repercuten en el tráfico y en su información de temporización. Se da por supuesto que los requisitos de los circuitos emulados y los relojes recuperados, especificados en la cláusula 9, se van a cumplir en condiciones operativas.

La sincronización de red se requiere, fundamentalmente, en las redes de capa 1 para gestionar memorias intermedias. Las memorias intermedias de capa 1, presentes en redes PDH, SDH y óptica de transporte (OTN), y sus funciones de adaptación son estructuras sencillas en las que la velocidad nominal de ingreso y egreso se controla dentro de unos límites específicos dados en las normas de funcionamiento en red propias de esas redes TDM. Mecanismos tales como los bytes de relleno y los punteros junto con los relojes de sistema son los métodos utilizados para gestionar esas

memorias intermedias y acomodar dominios de temporización diferentes. El diseño de la red limita el tamaño de las memorias intermedias para minimizar la latencia. En redes de capa 1, tales como la SDH, hay una vinculación directa entre el reloj de red y el nivel de fluctuación de fase o fluctuación lenta de fase que se puede transmitir a una señal de cliente.

En el caso de redes de transporte de paquetes, los datos son entregados sobre la red en bloques (paquetes, tramas) en vez de ser llevados en un tren continuo a velocidad binaria constante. Los paquetes pueden ser multiplexados estadísticamente y son encaminados vía conmutadores de paquetes que imponen a los paquetes un retardo debido al procesamiento, el almacenamiento en memoria intermedia y la retransmisión de los conmutadores intermedios. Es posible que dentro de un único conmutador, múltiples trenes de paquetes tengan que converger hacia una sola memoria intermedia de salida. La contienda resultante entre memorias intermedias introducirá un retardo variable. En algunos casos, tendrán que ser abandonados paquetes. Es probable que el reloj utilizado para dirigir los enlaces de transmisión de capa 1 no esté en sincronía con el reloj utilizado dentro del conmutador. Cualquier diferencia entre la velocidad a la que se presentan los paquetes para su transmisión y la velocidad de transmisión real se acomoda añadiendo relleno entre paquetes o descartando paquetes.

Puesto que los paquetes atraviesan rutas diferentes, un tren de paquetes puede mostrar de ingreso a egreso una variación significativa del retardo de los mismos. Además, los paquetes pueden estar mal ordenados con el resultado de un almacenamiento en memoria intermedia adicional. Los servicios que utilizan la red de paquetes han de tener en cuenta estas degradaciones. Para redes de paquetes, grandes memorias intermedias han de efectuar un procesamiento a nivel de paquete, en cuyo caso sólo se requieren niveles de sincronización aproximados en apoyo de la mayoría de los servicios.

A diferencia de lo que ocurre en una red de capa 1, como la SDH, no hay vinculación directa entre el reloj de red y las memorias intermedias de procesamiento de paquetes. Por tanto, no se puede utilizar la temporización de red para controlar la variación del retardo de los paquetes en estas redes. En general, sólo se necesita proporcionar sincronización de red a un conmutador de paquetes para cumplir cualquier requisito de sincronización de las interfaces de capa física con el conmutador, de acuerdo con los requisitos de interfaz TDM conexos establecidos por las normas particulares de funcionamiento en red, ya sea SDH o PDH.

Los requisitos de temporización de los servicios llevados en capas por encima de la red de capa 2 (por ejemplo, IPTV, MPEG-4), se especifican para dar cabida a las variaciones de las redes de paquetes existentes. Cualquier temporización específica de un servicio se codifica en la capa de servicio (por ejemplo, H.264, MPEG-4).

Hay no obstante casos en los que la capa física de una red de paquetes es síncrona (por ejemplo, SDH) y puede ser utilizada por la capa adaptación.

En la mayoría de los casos, la información transportada a través de la red, es decir, la información característica no incluye información de temporización. Esto tiene determinadas consecuencias cuando los servicios requieren la transferencia de una temporización exacta. En el caso de servicios de extremo a extremo, es preciso que las características de temporización de la capa servidor soporten los requisitos de sincronización del cliente. En mecanismos de capa 1 tradicionales (PDH, SDH y OTN), los procesos de adaptación de la temporización de red se diseñan específicamente de manera que sean compatibles con los requisitos de temporización de la señal del cliente. Cuando la capa servidor sea incapaz de admitir la temporización del cliente, quizás se requieran formas alternativas de proporcionar dicha temporización. Algo que se haría en la capa de adaptación a la red. Un ejemplo es AAL1 de ATM.

Las degradaciones de la red de paquetes pueden tener un efecto nocivo en la recuperación del servicio para un reloj que utiliza métodos adaptativos. En esta cláusula se examinan los niveles de

tales degradaciones que un proceso de recuperación de reloj debería ser capaz de soportar manteniendo al mismo tiempo el reloj dentro de las especificaciones pertinentes.

Los parámetros de calidad de funcionamiento siguientes, relacionados con las degradaciones de las redes de paquetes, se definen en [UIT-T Y.1540] (para redes IP) y [UIT-T Y.1561] (para redes MPLS). En [UIT-T Y.1731] se definen también medidas de calidad de funcionamiento similares para redes Ethernet.

- 1) Retardo en la transferencia de paquetes y variación del retardo.
- 2) Proporción de errores en los paquetes.
- 3) Proporción de pérdida de paquetes.
- 4) Resultados severos de pérdida de paquetes.

10.1 Retardo en la transferencia de paquetes y variación del retardo

10.1.1 Métodos diferenciales

El retardo en la transferencia de paquetes y la variación del retardo no deberán afectar al funcionamiento de la recuperación del reloj cuando se disponga de un reloj de referencia de red en ambos extremos y se utilicen métodos diferenciales.

10.1.2 Métodos adaptativos

La recuperación adaptativa del reloj de servicio a partir de un tren de paquetes que contenga datos a velocidad binaria constante o indicadores de tiempo se consigue por lo general mediante alguna función de computación de la velocidad de llegada o las horas de llegada de los paquetes en el nodo de destino.

Si el retardo a través de la red de paquetes es constante, la frecuencia de llegada de los paquetes al nodo de destino no resulta afectada por la red. Puede haber un desfase en el reloj recuperado debido al retardo a través de la red, pero no deberá haber fluctuación lenta de frecuencia o de fase.

Si el retardo varía, puede ser percibido por un proceso de recuperación de reloj como un cambio en la fase o en la frecuencia del reloj de servicio original. Por consiguiente, durante el diseño de un proceso de recuperación de reloj deben analizarse con mucha atención las causas de variación del retardo.

En una red de paquetes hay varias causas de variación del retardo. Entre ellas:

- la variación del retardo aleatoria (por ejemplo, retardos por puesta en cola de espera);
- la variación del retardo de baja frecuencia (por ejemplo, esquemas día/noche);
- la variación del retardo sistemática (por ejemplo, mecanismos de almacenamiento y retransmisión en la capa de transporte subyacente);
- los cambios del encaminamiento;
- los efectos de la congestión.

10.1.2.1 Variación del retardo aleatoria

La variación del retardo aleatoria es el resultado del comportamiento de los conmutadores o encaminadores de la red de paquetes. La fuente principal de esta variación es el retardo de espera en cola a la salida, causado cuando al llegar un paquete a un conmutador o encaminador está bloqueado el puerto de salida por otro tráfico, con lo que el paquete tiene que aguardar en cola de espera. Otros factores, debidos al funcionamiento interno del conmutador o el encaminador, pueden retardar también el paquete, como se describe en el Apéndice I.

No es posible predecir con certeza alguna el retardo de cualquier paquete a través de un conmutador o encaminador, aunque es probable que el retardo aumente con la carga en ese dispositivo. Por

consiguiente, habrá alguna correlación entre el retardo de paquetes sucesivos con la carga de tráfico de la red.

10.1.2.2 Variación del retardo de baja frecuencia

Como se describe más arriba, el retardo a través de una red de paquetes, si bien impredecible, está correlacionado por lo general con la carga de la red en el periodo de tiempo en cuestión. La carga es una cantidad dinámica y puede contener componentes de frecuencia extremadamente baja. Por ejemplo, si una red está más cargada durante el día que durante la noche, ello da lugar a un componente de variación de la carga con un periodo de 24 horas.

Esa variación de la frecuencia sumamente baja puede provocar una fluctuación lenta de fase en un reloj recuperado desde un tren de paquetes con el mismo periodo. Puesto que muchas de las especificaciones de reloj pertinentes limitan la fluctuación lenta de fase permisible a lo largo periodos de 24 horas o más (por ejemplo, [UIT-T G.824]), esto es algo que habrá de ser compensado durante el diseño de un proceso de recuperación de reloj.

10.1.2.3 Variación del retardo sistemática

Determinados tipos de redes de transporte subyacente pueden provocar una variación sistemática del retardo de los paquetes a lo largo del tiempo. Por ejemplo, algunos tipos de transporte utilizan una "ventana de transmisión" o un "intervalo de tiempo" almacenando los paquetes que se han de transmitir hasta que se abra la ventana. Ejemplos al respecto son la red óptica pasiva (PON), la línea de abonado digital x (xDSL) y la interoperabilidad mundial para acceso por microondas (WiMAX).

El efecto de la ventana de transmisión consiste en imponer un perfil de retardo "en dientes de sierra" sistemático al tren de paquetes (véase la Figura 19). En el caso de trenes de paquetes a velocidad regular, por ejemplo, los que contienen datos a velocidad binaria constante, el periodo de la ventana de transmisión puede entrar en colisión con la velocidad de los paquetes, provocando una lenta variación del retardo a lo largo del tiempo. Estos efectos son muy similares a los de la fluctuación del tiempo de espera en redes TDM. En dichas redes es posible controlar la fluctuación del tiempo de espera mientras que no ocurre lo mismo en las redes de paquetes.

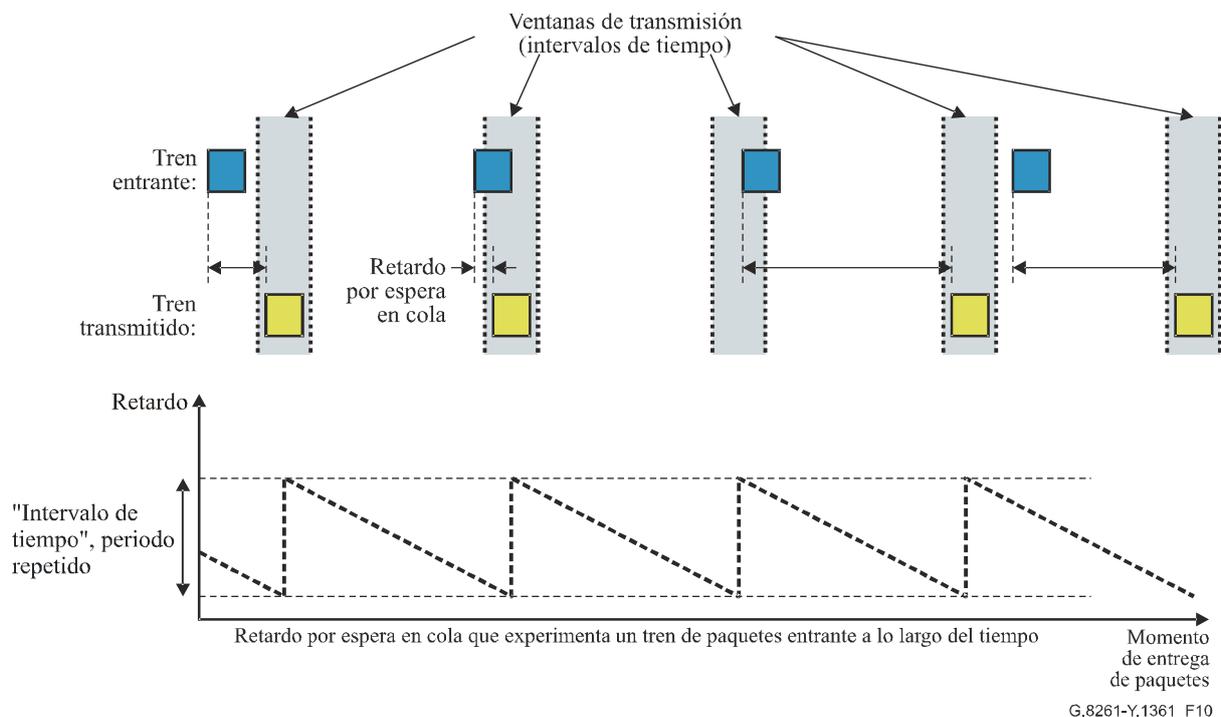


Figura 19 – Variación del retardo sistemática causada por una red con intervalos de tiempo

Otro tipo de variación del retardo sistemática a la que pueden verse sometidos los trenes de paquetes a velocidad ordinaria es la que se produce por el enfrentamiento con otros trenes de paquetes ordinarios. La Figura 20 muestra lo que ocurre cuando dos trenes de paquetes de casi la misma frecuencia son combinados para formar un enlace de paquetes único por un conmutador o encaminador.

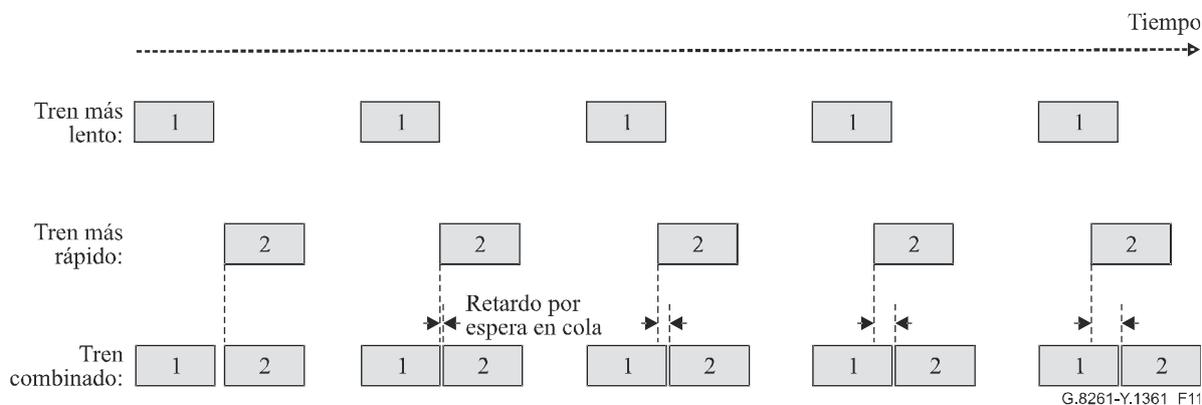


Figura 20 – Enfrentamiento entre trenes de paquetes a velocidad regular

El tren 1 es el tren más lento, y durante algún tiempo los paquetes del tren 1 llegan al conmutador o encaminador por delante de los del tren 2. Sin embargo, los paquetes del tren 2 comienzan a alcanzar a los del 1. Puesto que en cada momento sólo un paquete puede entrar en el enlace de paquetes, los paquetes del tren 2 empiezan a experimentar un retardo por espera en cola (véase la Figura 21). Este retardo aumenta hasta que llega un momento en que se iguala al tiempo de transmisión del paquete por el enlace.

Finalmente, los paquetes del tren 2 empiezan a llegar al conmutador o encaminador por delante de los del tren 1, y el retardo por espera en cola es eliminado. En ese momento es el tren 1 el que se ve sometido a un retardo por espera en cola. Esa situación va desapareciendo lentamente hasta que los paquetes del tren 1 llegan al conmutador después de que los paquetes del tren 2 hayan completado la transmisión.

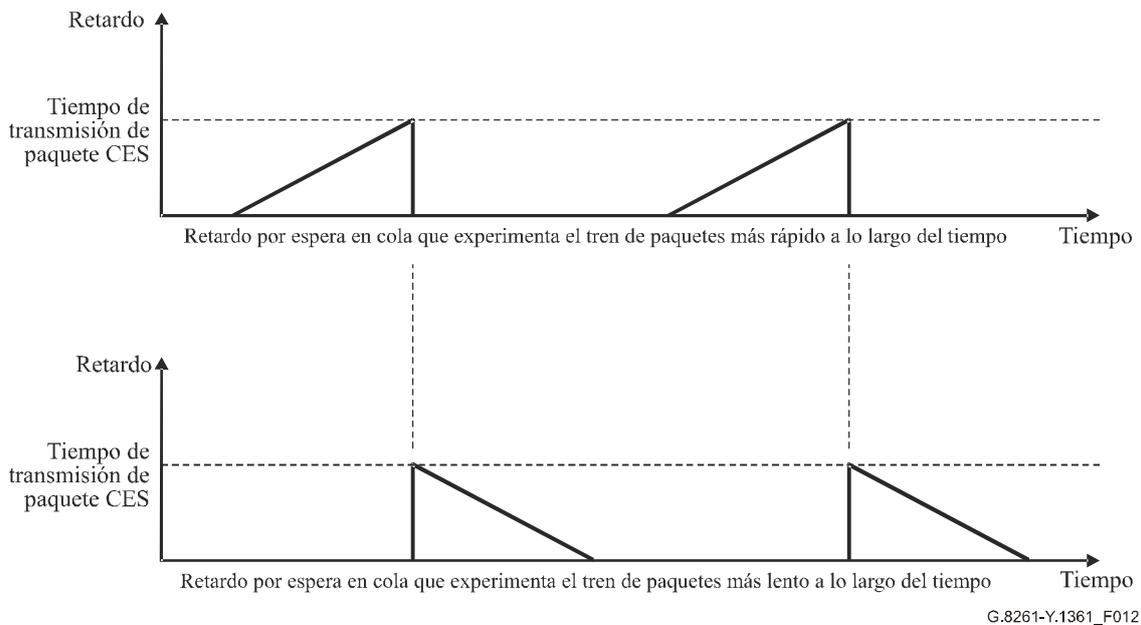


Figura 21 – Perfil del retardo experimentado por trenes de paquetes que se enfrentan

La duración del periodo de tiempo en que los trenes de paquetes experimentan retardo por espera en cola (es decir, la anchura de los triángulos de la Figura 21) es inversamente proporcional a la diferencia de velocidad entre los dos trenes de paquetes. Cuando las velocidades de los paquetes están muy próximas, la duración puede ser extremadamente larga. Esta variación del retardo a largo plazo puede causar una variación lenta de fase en cualquier reloj recuperado de uno de los trenes de paquetes.

Cuando múltiples trenes asíncronos a velocidad ordinaria comparten el mismo enlace de paquetes, el efecto puede ser aditivo. En el caso más desfavorable, los paquetes de todos los trenes pueden llegar a estar exactamente alineados provocando el retardo por espera en cola máximo, aunque la frecuencia de ese enfrentamiento combinado se reducirá con el número de trenes.

10.1.2.4 Cambios del encaminamiento

La ruta tomada por un tren de paquetes a través de una red de paquetes puede cambiar en determinados momentos. Algo que puede deberse a situaciones especiales de la red (por ejemplo, encaminamiento evitando un enlace en fallo o congestionado), a una conmutación de protección para utilizar una ruta alternativa o por reconfiguración de la red.

El efecto neto de todo ello es un cambio en escalón del retardo a través de la red. Si no se compensa, puede ser visto en el reloj recuperado como un cambio de fase. Tales cambios deben ser detectados y tenidos en cuenta en el proceso de recuperación del reloj. Por lo general, los grandes cambios en el retardo son relativamente fáciles de detectar y de compensar, pero los cambios pequeños pueden ser enmascarados por la variación del retardo general, o por la deriva del oscilador local en el nodo de recuperación del reloj.

10.1.2.5 Efectos de la congestión

Congestión es el incremento temporal de la carga de tráfico en la totalidad o en una parte de la red. Puede hacer que toda la red o parte de la misma pase a estar "sobrecargada" y que algunos paquetes resulten severamente retardados o sean abandonados. La duración de los eventos de congestión es variable y puede ser de varios segundos o minutos. Si la red experimenta fenómenos frecuentes de grave congestión que duren más de 5 minutos, será una indicación de que la red probablemente no sea la adecuada para llevar a cabo una emulación de circuitos.

10.1.2.6 Mecanismos de bloqueo dependientes de la topología en redes de paquetes

La topología de la red y, en particular, la interacción con otros flujos en la red puede afectar al retardo de un flujo de paquetes. Esto se debe al hecho de que paquetes de diferentes tamaños atraviesan la red con velocidades diferentes. Los paquetes grandes tardan más en atravesar una red, debido a que tienen que leerse en su totalidad en un elemento de red antes de que puedan ser procesados y enviados al tramo siguiente. Los CES y los paquetes de temporización normalmente son cortos y se mueven con rapidez a través de una red.

En una red con una topología de ruta compartida (por ejemplo, como se muestra en la Figura 22), se puede producir un retardo adicional, incluso con volúmenes de tráfico relativamente bajos.

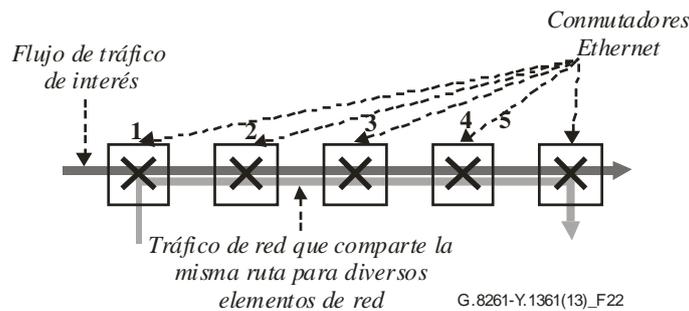


Figura 22 – Topología de ruta compartida

Cuando un flujo de paquetes grande comparte el mismo trayecto durante dos o más enlaces consecutivos, puede empezar a obstruir la transmisión de paquetes pequeños. Aquí es donde los paquetes pequeños "alcanzan" a los paquetes grandes, puesto que se propagan mucho más deprisa a través de la red. La Figura 23 muestra el funcionamiento de este efecto:

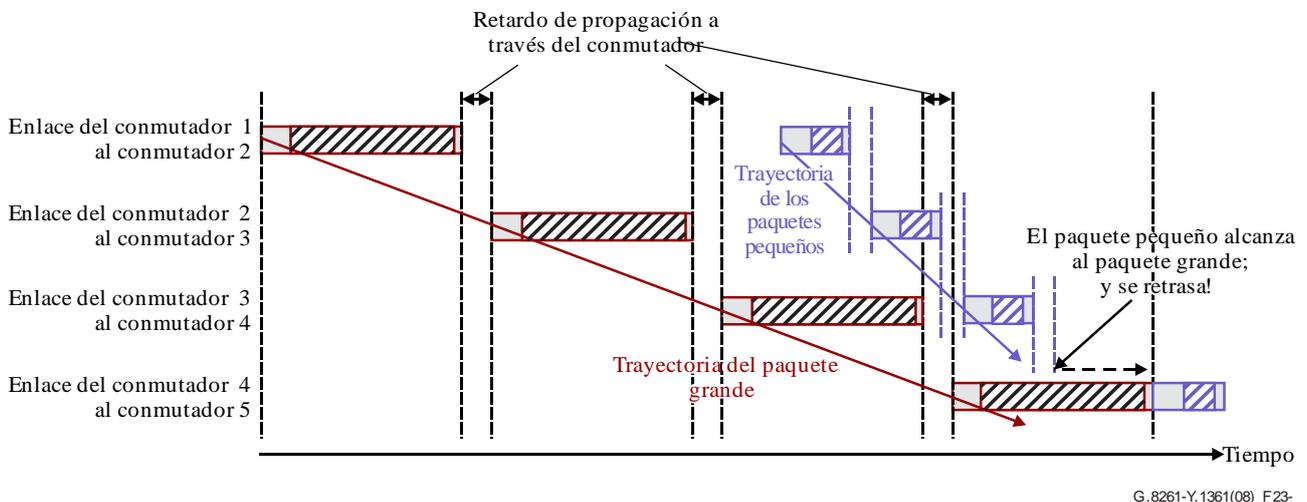


Figura 23 – Paquetes grandes bloqueando una ruta compartida

El efecto es tal que, si la carga de paquetes grandes es suficientemente elevada, es probable que los paquetes pequeños se retrasen en algún punto durante su tránsito a través de la red (esto varía con el tamaño relativo de los paquetes pequeños y grandes). Aumentar proporcionalmente por encima de esta carga produce el retardo mínimo posible a través de la red.

10.2 Repercusiones de las degradaciones de los paquetes

10.2.1 Errores en los paquetes y pérdidas de paquetes

Las degradaciones en las redes de paquetes pueden repercutir en tres elementos distintos del trayecto de entrega, a saber, el proceso de recuperación del reloj IWF (quizás esto no pueda supervisarse), la recuperación del reloj de servicio y el propio servicio TDM. Los límites de la pérdida de paquetes y el desorden de estos últimos así como su repercusión en el servicio y en el proceso de recuperación de reloj quedan en estudio.

Las subcláusulas que siguen contienen texto adicional en el que se analizan las cuestiones pertinentes.

La pérdida de paquetes y el desorden de los paquetes no afectan de manera particular a la calidad del proceso de recuperación del reloj IWF en ninguno de los métodos presentados en esta Recomendación. De manera específica, a niveles a los que el servicio de transporte TDM sigue siendo utilizable, la pérdida de paquetes (de manera uniforme y en ráfagas) y el desorden de los paquetes tienen un efecto irrelevante en la calidad del proceso de recuperación del reloj IWF.

10.2.1.1 Repercusión en el servicio TDM

Los circuitos TDM llevados por redes de paquetes pueden ser sumamente vulnerables a los errores en los bits causados por la pérdida de paquetes. Uno de los motivos de esa vulnerabilidad es que los errores en los bits son magnificados por el transporte de paquetes: un solo bit erróneo en el paquete hace que se descarte el paquete completo, provocando una ráfaga de bits erróneos consecutivos en el tren TDM recuperado. Por ello, incluso niveles moderados de pérdida de paquetes (desde el punto de vista de una red de paquetes convencional) pueden provocar la indisponibilidad de un circuito TDM.

NOTA – La vulnerabilidad de los circuitos TDM dependerá principalmente de las características específicas de la IWF. Algunas IWF podrían emplear técnicas de ocultamiento de pérdida de paquetes diferentes para proteger la aplicación contra dicha pérdida.

10.2.1.2 Repercusión en el proceso de recuperación del reloj IWF

La recuperación del reloj IWF combina el algoritmo de recuperación del reloj basada en los paquetes entrantes, el reloj integrado y el método de recuperación de la temporización utilizado (a saber, adaptativo o diferencial). La calidad del proceso de recuperación del reloj IWF es una combinación de las perturbaciones de la red de paquetes, el algoritmo utilizado para superar esas perturbaciones, el reloj integrado en la IWF y el método de recuperación de la temporización empleado.

NOTA – Los límites de pérdida de paquetes y desorden de paquetes para que se preserve la recuperación del reloj IWF y la del reloj de servicio deberán especificarse de manera que se abarquen todos los escenarios posibles de pérdida de paquetes; esos límites quedan en estudio.

10.2.1.3 Repercusión en la recuperación del reloj de servicio

Con respecto al proceso de recuperación del reloj de servicio, se requiere que dicha recuperación soporte pérdidas de paquetes mucho mayores que el propio circuito TDM, de tal modo que el reloj de servicio permanezca dentro de la especificación más allá del punto en que los datos se declaran indisponibles. La recuperación del reloj IWF influirá directamente en la calidad del proceso de recuperación del reloj de servicio.

10.2.2 Resultados severos de pérdida de paquetes

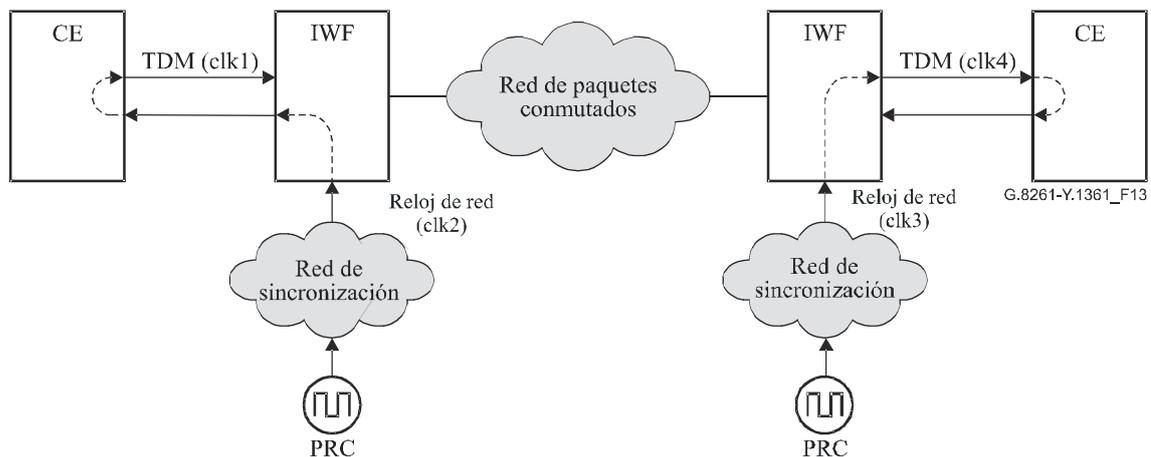
Según [UIT-T Y.1540] y [UIT-T Y.1561] un resultado severo de pérdida se produce cuando en un bloque de paquetes observado en el ingreso a una interfaz durante un intervalo de tiempo T, la relación entre paquetes perdidos y número total de paquetes supera un umbral determinado. En las redes Ethernet se prevén efectos similares.

Durante estas degradaciones, el mecanismo de recuperación de la temporización ha de hacer frente a la pérdida total de paquetes, tal como se analiza en la cláusula 10.2.1. Este tema queda en estudio.

11 Repercusión de la degradación del reloj de referencia en la recuperación del reloj de servicio

11.1 Degradaciones en el caso de métodos de funcionamiento síncrono de red

En la Figura 24 se muestran los relojes que intervienen en el transporte de señales TDM a través de una red de paquetes.



Los dos PRC pueden tener también su origen en la misma fuente.

Figura 24 – Relojes que intervienen en el transporte de señales TDM a través de una red de paquetes para funcionamiento síncrono de red

Los relojes son:

- El reloj que genera la señal TDM (clk1 en la figura).
- El reloj de referencia de red utilizado para la depaquetización en la IWF de la izquierda (clk2 en la figura).
- El reloj de referencia de red utilizado para la depaquetización en la IWF de la derecha (clk3 en la figura).
- El reloj que genera la señal TDM después de la red de paquetes (clk4 en la figura).

Clk1 ha de ser rastreable hasta un PRC, lo cual se puede hacer bien mediante temporización en bucle como se muestra en la Figura 24 o bien por otros medios. De no ser así, la utilización de un reloj de referencia de red en el depaquetizador (es decir, clk3 en la figura) provocaría graves problemas.

Para tener una temporización correcta en la señal TDM de salida, los relojes que generan (es decir, clk1) y retemporizan (es decir, clk4) señales TDM han de tener la misma frecuencia a largo plazo (o dentro de los límites del PRC) ya que de otro modo se generará una tasa de deslizamientos inaceptable (el ruido a corto plazo deberá mantenerse dentro de límites aplicables).

En funcionamiento normal, el reloj de referencia de red en la fuente TDM (clk1) y el reloj de referencia de red en el depaquetizador están enganchados ambos a una señal de temporización de referencia que es rastreable hasta un PRC. Sin embargo, durante las condiciones de fallo en la red de sincronización, estos relojes pueden ser enganchados a una señal de temporización de referencia que sea rastreable hasta un reloj que funcione en el modo régimen libre. En las condiciones de fallo, estos relojes proporcionarán un modo régimen libre adecuado basado en los objetivos de calidad de funcionamiento relativos a la tasa de deslizamientos [UIT-T G.822].

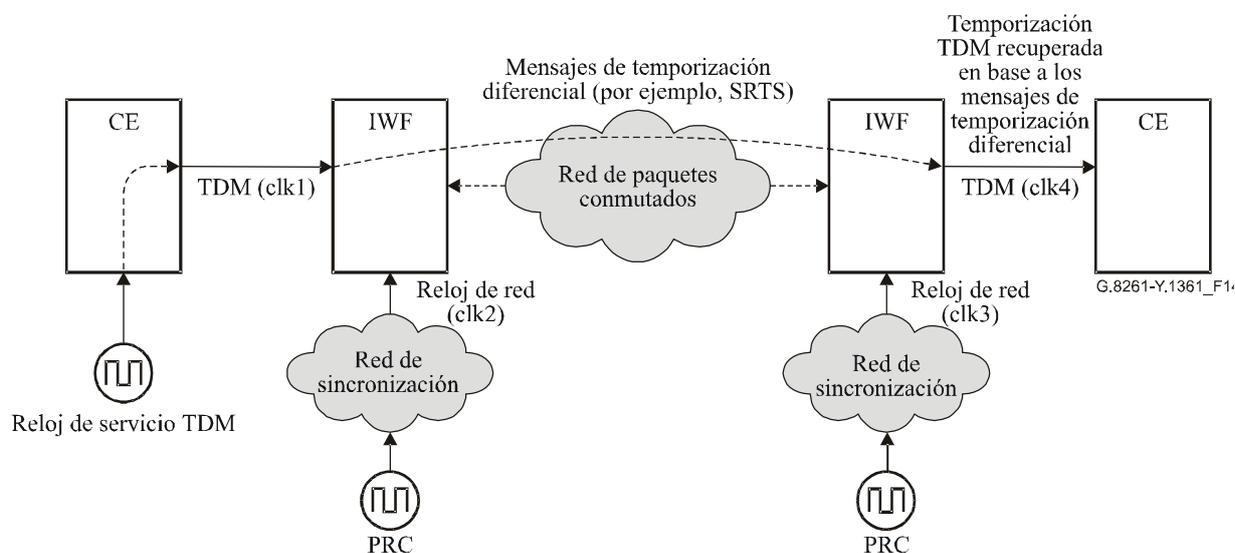
El reloj que proporciona esta función de régimen libre durante los fallos de la red de sincronización puede estar integrado en el propio equipo o estar disponible in situ (por ejemplo, integrado en un elemento de red de transmisión o en un equipo de sincronización autónomo (SASE)). Corresponde al planificador de la red proporcionar la solución más adecuada.

En resumen, el modo de funcionamiento síncrono de red requiere bien la introducción de relojes precisos en la IWF sumidero o bien un sistema que permita conmutar a un reloj adecuado en caso de pérdida de la sincronización del reloj de red (PRC).

Para detectar los periodos de pérdida de sincronización es preciso disponer de alguna forma de supervisión de la posibilidad de rastreo (por ejemplo, SSM).

11.2 Degradaciones en el caso de método diferencial

En la Figura 25 se muestran los relojes que intervienen en el transporte de señales TDM a través de una red de paquetes.



Los dos PRC pueden tener también su origen en la misma fuente.

Figura 25 – Relojes que intervienen en el transporte de señales TDM a través de una red de paquetes en el caso de método diferencial

Intervienen en la Figura 14:

- el reloj que genera la señal TDM, PDH o SDH (clk1 en la figura) que puede ser plesiócrono aunque se considera que la mayoría de las señales son ahora síncronas;
- el reloj de red que se utiliza para generar los mensajes de temporización diferencial (clk2 en la figura);
- el reloj de red (clk3 en la figura) que se utiliza para regenerar el reloj TDM (clk4 en la figura) en base a los mensajes de temporización diferencial.

Cualquier ruido de fase en estos relojes provocará ruido de fase en la temporización de la señal de salida TDM.

Para tener una temporización correcta en la señal de salida TDM, los relojes que generan (es decir, clk1) y retemporizan (es decir, clk4) las señales TDM deben tener la misma frecuencia a largo plazo (o dentro de los límites del PRC) ya que de otro modo se generará una tasa de deslizamientos inaceptable (el ruido a corto plazo deberá mantenerse dentro de límites aplicables).

En funcionamiento normal, los relojes de red que generan los mensajes de temporización diferencial y regeneran el reloj TDM (clk2 y clk3 en la figura) están enganchados a una señal de temporización de referencia que es rastreable hasta un PRC. Sin embargo, durante las condiciones de fallo en la red de sincronización, estos relojes pueden ser enganchados a una señal de temporización de referencia que sea rastreable hasta un reloj que funcione en el modo régimen libre. En condiciones de fallo, estos relojes proporcionarán un modo régimen libre adecuado basado en los objetivos de calidad de funcionamiento relativos a la tasa de deslizamiento de [UIT-T G.822].

El reloj que proporciona esta función de régimen libre durante los fallos de la red de sincronización puede estar integrado en la propia IWF o estar disponible in situ (por ejemplo, integrado en un elemento de red de transmisión o en un SASE). Corresponde al planificador de la red proporcionar la solución más adecuada.

Para detectar los periodos de pérdida de sincronización es preciso disponer de alguna forma de supervisión de la posibilidad de rastreo (por ejemplo, SSM).

12 Resultados y consecuencias de los diferentes métodos de sincronización en los modelos de referencia de red de paquetes

Las recomendaciones sobre la metodología de distribución de referencias de sincronización (dominio PNT) y de recuperación de la temporización de un servicio TDM (dominio CES) difieren de acuerdo con los escenarios de red y los requisitos de sincronización de importancia para cada aplicación.

12.1 Recomendaciones en el dominio CES

Se ha determinado que los escenarios siguientes están dentro del alcance de la presente Recomendación (con referencia a los modelos de red de la cláusula 9.1).

12.1.1 Recomendación para la recuperación de la temporización de un servicio TDM (Caso de instalación 1)

Los límites de red para señales PDH en este caso se definen en la cláusula 9.1 para el caso de instalación 1.

La recuperación de la temporización de señales PDH llevadas por red de paquetes se puede efectuar por medio de:

- el funcionamiento síncrono de red cuando se dispone de una señal rastreable hasta un PRC en las IWF y no se requiere preservar el reloj de servicio;
- métodos diferenciales cuando se dispone de referencia rastreable hasta un PRC en la IWF. Con este método es posible preservar el reloj de servicio;
- métodos adaptativos cuando se puede controlar la variación del retardo en la red. Con este método es posible preservar el reloj de servicio.

NOTA – En estos escenarios, los límites de red son muy estrictos. Se supone, sin embargo, que cuando la red puede ser modelada de acuerdo con el modelo A (al menos en el escenario 2 y el escenario 3, véase el Apéndice V), los métodos adaptativos deberían permitir el cumplimiento de los límites de red definidos en la cláusula 9.1.

Queda en estudio decidir si el método adaptativo puede ser utilizado en una red modelada de acuerdo con el modelo B (véase el Apéndice V).

El transporte de señales SDH en este escenario queda en estudio. Hay que señalar que la recuperación del reloj para señales SDH deberá satisfacer el nivel de calidad de las interfaces de sincronización de acuerdo con [UIT-T G.823] para redes basadas en la jerarquía de 2 048 kbit/s y con [UIT-T G.824] para redes basadas en la jerarquía de 1 544 kbit/s. La utilización de los métodos

descritos en la cláusula 7.1 para el soporte de un funcionamiento síncrono de la red garantiza el cumplimiento de esos requisitos.

12.1.2 Recomendación para la recuperación de la temporización de un servicio TDM (Caso de instalación 3)

Los límites de red para señales PDH en este caso se definen en la cláusula 9.1 para el caso de instalación 3.

La recuperación de la temporización de señales PDH transportadas por una red de paquetes se puede efectuar por medio de:

- el funcionamiento síncrono de red cuando se dispone de una señal rastreable hasta un PRC en las IWF y no se requiere preservar el reloj de servicio;
- métodos diferenciales cuando se dispone de referencia rastreable hasta un PRC en la IWF. Con este método es posible preservar el reloj de servicio;
- métodos adaptativos cuando se puede controlar la variación del retardo en la red. Con este método es posible preservar el reloj de servicio.

NOTA – En estos escenarios, los límites de red son menos estrictos que los de los escenarios de la cláusula 12.1.1. Se supone que cuando la red puede ser modelada de acuerdo con el modelo A, los métodos adaptativos deberían permitir el cumplimiento de los límites de red definidos en la cláusula 9.1.

Queda en estudio decidir si el método adaptativo puede ser utilizado en una red modelada de acuerdo con el modelo B.

El transporte de señales SDH en este escenario queda en estudio. Hay que señalar que la recuperación del reloj para señales SDH deberá satisfacer el nivel de calidad de las interfaces de sincronización de acuerdo con [UIT-T G.823] para redes basadas en la jerarquía de 2 048 kbit/s y con [UIT-T G.824] para redes basadas en la jerarquía de 1 544 kbit/s. La utilización de los métodos descritos en la cláusula 7.1 para soportar una operación de red síncrona garantiza el cumplimiento de esos requisitos.

12.1.3 Recomendación para la recuperación de la temporización de un servicio TDM (Aplicación A del caso de instalación 2)

Los límites de red para señales PDH se definen en este caso en la cláusula 9.1 para la aplicación A del caso de instalación 2.

La recuperación de la temporización de señales PDH transportadas por una red de paquetes se puede efectuar por medio de:

- el funcionamiento síncrono de red cuando se dispone de una señal rastreable hasta un PRC en las IWF y no se requiere preservar el reloj de servicio;
- métodos diferenciales cuando se dispone de referencia rastreable hasta un PRC en la IWF. Con este método es posible preservar el reloj de servicio;
- métodos adaptativos cuando se puede controlar la variación del retardo en la red. Con este método es posible preservar el reloj de servicio.

NOTA – En estos escenarios, los límites de red son menos estrictos que los de los escenarios de la cláusula 12.1.1. Se supone que cuando la red puede ser modelada de acuerdo con el modelo A, los métodos adaptativos deberían permitir el cumplimiento de los límites de red definidos en la cláusula 9.1.

Queda en estudio decidir si el método adaptativo puede ser utilizado en una red modelada de acuerdo con el modelo B.

El transporte de señales SDH en este escenario queda en estudio. Hay que señalar que la recuperación del reloj para señales SDH deberá satisfacer el nivel de calidad de las interfaces de

sincronización de acuerdo con [UIT-T G.823] para redes basadas en la jerarquía de 2 048 kbit/s y con [UIT-T G.824] para redes basadas en la jerarquía de 1 544 kbit/s. La utilización de los métodos descritos en la cláusula 7.1 para soportar una operación de red síncrona garantiza el cumplimiento de esos requisitos.

12.1.4 Recomendación para la recuperación de la temporización de un servicio TDM (Aplicación B del caso de instalación 2)

Los límites de red para señales PDH se definen en este caso en la cláusula 9.1 para la aplicación B del caso de instalación 2.

La recuperación de la temporización de señales PDH llevadas por red de paquetes se puede efectuar, en este caso, por medio de:

- El funcionamiento síncrono de red cuando se dispone de una señal rastreable hasta un PRC en las IWF y no se requiere preservar el reloj de servicio.
- Métodos diferenciales cuando se dispone de referencia rastreable hasta un PRC en la IWF. Con este método es posible preservar el reloj de servicio.
- Métodos adaptativos cuando se puede controlar la variación del retardo en la red. Con este método es posible preservar el reloj de servicio.

NOTA – En estos escenarios, los límites de red dependen de las características del equipo de extremo que normalmente tolera los límites de interfaz de tráfico de [UIT-T G.823] y de [UIT-T G.824]. Se supone que si la red puede ser modelada de acuerdo con el modelo A, los métodos adaptativos deberían permitir el cumplimiento de lo especificado en [UIT-T G.823] o en [UIT-T G.824], según proceda.

Queda en estudio decidir si el método adaptativo puede ser utilizado en una red modelada de acuerdo con el modelo B.

El transporte de señales SDH en este escenario queda en estudio. Hay que señalar que la recuperación del reloj para señales SDH deberá satisfacer el nivel de calidad de las interfaces de sincronización de acuerdo con [UIT-T G.823] para redes basadas en la jerarquía de 2 048 kbit/s y con [UIT-T G.824] para redes basadas en la jerarquía de 1 544 kbit/s. La utilización de los métodos descritos en la cláusula 7.1 para soportar una operación de red síncrona garantiza el cumplimiento de esos requisitos.

12.2 Recomendaciones para el dominio PNT

Se ha determinado que los escenarios siguientes están dentro del alcance de la presente Recomendación (con referencia a los modelos de red de la cláusula 9.2).

12.2.1 Recomendaciones para la distribución de señales de temporización de referencia por Ethernet síncrona

La cláusula 9.2 define en este caso los límites de red para las señales de temporización de referencia.

La instalación de redes de sincronización por la capa física que utilizan una técnica de capa 1, como Ethernet síncrona proporciona un método de transportar sincronización que no esté sujeto a ninguna tensión en lo que respecta a los paquetes (es decir, que no afecte a la variación del retardo de paquetes).

Los límites estipulados en la cláusula 9.2 se cumplen siempre que el diseño de la red de sincronización se ajuste a las mismas reglas de diseño ya definidas para las redes de sincronización basadas en SDH, es decir, que cumplan la cadena de referencia de la red de sincronización de [UIT-T G.803], que se muestra en las Figuras 8-1 y 8-2 de [UIT-T G.803], en la que el EEC [ITU-T G.8262] deberá sustituir al SEC. En particular, según este modelo, la cadena de referencia

de la red de sincronización más larga no deberá rebasar 10 SSU ni 60 EEC (Opción 1) y, entre cualesquiera dos SSU, el número de EEC no debe rebasar los 20.

NOTA 1 – Los valores para los relojes de la "Opción 2" quedan en estudio.

NOTA 2 – La utilización de esta técnica exige que todos los elementos de red en la cadena de sincronización situados entre el reloj de referencia primario y el elemento de red que ha de sincronizarse (por ejemplo, una estación base) admitan Ethernet síncrona.

Cabe observar que la señal de sincronización en la capa 1 puede suministrarse dentro del dominio de un mismo operador de red. Queda en estudio el interfuncionamiento entre diferentes dominios de red.

12.2.2 Recomendaciones para la distribución de señales de temporización de referencia por paquetes

[UIT-T G.8265] describe los aspectos relativos a la distribución de frecuencia utilizando métodos basados en paquetes.

Estos métodos se basan en métodos adaptativos de recuperación del reloj y, por consiguiente, la calidad depende generalmente de la variación del retardo de paquetes en la red (véase la cláusula 10).

Por ese motivo, al utilizar estas técnicas es preferible transportar la temporización por una red bien diseñada en la que el flujo de temporización circule por un canal donde las degradaciones en la red de paquetes sean mínimas. Una parte de este proceso consistirá en asignar la mayor prioridad a dicho flujo.

Cabe señalar que la naturaleza compartida de la transmisión implica que todos los flujos interfieren entre sí en cierto grado, con independencia de la prioridad respecto a la temporización.

Lo que constituye una red bien diseñada para transportar temporización es un asunto que se está estudiando. En el marco de este estudio se están examinando, en particular, algunas métricas. Éstas deberán basarse en el conjunto de retardos de paquetes y variaciones del retardo de paquetes.

NOTA 1 – Los términos retardo de paquetes y variación del retardo de paquetes, utilizados en esta Recomendación se basan en las definiciones de [UIT-T T G.8260].

Las características del oscilador integrado en el equipo de extremo son factores esenciales que afectan al rendimiento que puede conseguirse. Por tanto, las características del oscilador dependerán de los requisitos que haya de cumplir la señal de temporización recuperada y del nivel de ruido (variación del retardo de paquete) generado por la red.

La especificación para los relojes que se deben implementar en la función de recuperación de reloj de los métodos basados en paquetes se encuentra fuera del ámbito de la presente Recomendación.

El formato concreto del paquete no afecta considerablemente a la calidad de los métodos basados en paquetes. No obstante, se debe utilizar el formato de datos de la indicación de tiempo (PTP y NTP son dos ejemplos de formato de indicación de tiempo).

NOTA 2 – Se están estudiando (por ejemplo, en los estudios del perfil de telecomunicaciones de IEEE1588) los métodos que dan soporte desde los nodos en la red de paquetes para reducir la incidencia de la variación del retardo de paquetes (por ejemplo, mecanismos para medir las variaciones del retardo de paquetes que se añaden en cada tramo de la red de paquetes). Se estudian aspectos tales como los relativos a la arquitectura, la escalabilidad o los requisitos del reloj.

NOTA 3 – Este tipo de enfoque hace necesario que los equipos de red que intervienen en el trayecto de sincronización dispongan de algún tipo de sistema de apoyo.

12.2.2.1 Recomendaciones para el caso de instalación 1

Los límites de red para las señales de temporización de referencia en este caso se definen en la cláusula 9.2.2 para el caso de instalación 1.

En este caso, los requisitos se expresan en términos de niveles de ruido muy bajos (fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase) que se pueden generar en la red.

Los métodos basados en paquetes pueden resultar adecuados en este caso solo cuando existan niveles bajos de la variación del retardo de paquetes generados por la red en paquetes seleccionados por el algoritmo de recuperación de temporización.

Las características de reloj, sus parámetros y los límites asociados con los que se pueden cumplir los límites de red del caso de instalación 1 se encuentran en estudio.

12.2.2.2 Recomendaciones para el caso de instalación 2

Los límites de red para las señales de temporización de referencia en este caso se definen en la cláusula 9.2.2 para el caso de instalación 2.

En este caso, el nivel de ruido que puede generarse depende de la tolerancia de la aplicación final.

Por ejemplo, la fluctuación lenta de fase típica que toleran las aplicaciones de extremo se puede expresar en términos de las máscaras de tráfico de [UIT-T G.823] y [UIT-T G.824]. [UIT-T G.8261.1] define las condiciones en las que una red de paquetes puede soportar métodos basados en paquetes y [UIT-T G.8263] especifica las características de reloj conexas.

El Apéndice III aporta más información.

Anexo A

Arquitectura de red propuesta para Ethernet síncrona

(Este anexo forma parte integral de la presente Recomendación.)

A.1 Ubicación del PRC

En una arquitectura de Ethernet síncrona típica, los PRC se situarán en una posición de entre tres posibles, dependiendo de la arquitectura global a la que el operador de red desee atenerse. Esas posiciones son las tres ubicaciones que se indican a continuación de forma resumida.

De acuerdo con la Figura A.1, serían como sigue.

- Caso A, situación medular – El PRC estará situado en el nodo medular. Véase la ubicación "A" de la Figura A.1. Esta arquitectura sugiere la presencia de unos cuantos nodos PRC, es decir, que los PRC estarían situados centralmente con alguna forma de distribución a la IWF.
- Caso B, situación de acceso – El PRC estará situado en algún punto hacia atrás dentro de la red (geográficamente separado de la IWF), normalmente en el punto de acceso de servicios múltiples. Véase la ubicación "B" de la Figura A.1. Esta arquitectura sugiere un número mayor de nodos PRC que los requeridos para el caso A, es decir, los PRC estarían situados centralmente con alguna forma de distribución a la IWF.
- Caso C, situación en la IWF – El PRC estará situado en la misma ubicación que la IWF y habrá una conexión de sincronización directa con la IWF. Véase la ubicación "C" de la Figura A.1. Según este caso, habría muchos nodos PRC, es decir, un PRC por IWF.

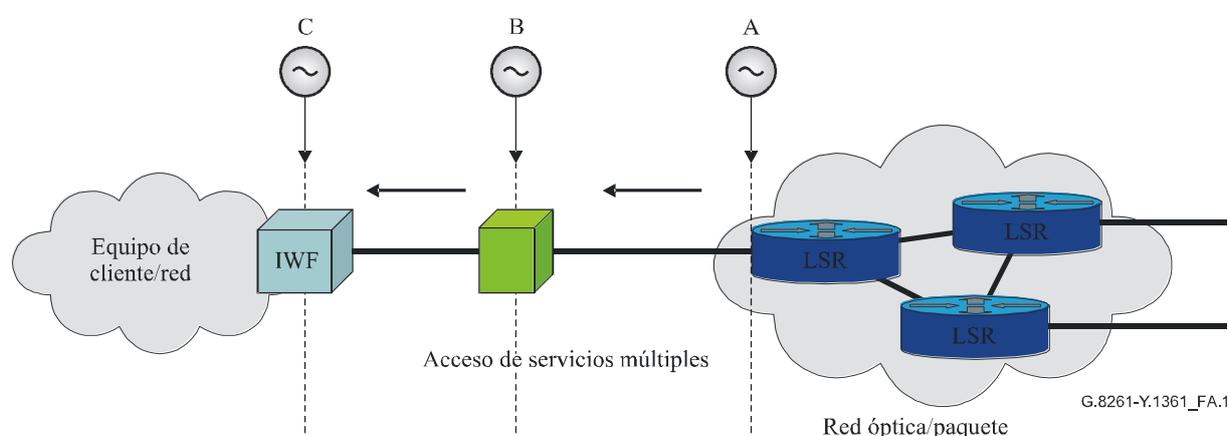


Figura A.1 – Ubicación del reloj de referencia

En relación con la Figura A.1, el flujo de sincronización va de la red medular a la IWF. No se pretende que la temporización se distribuya desde el equipo de cliente (CE) hacia la red medular.

A.2 Limitación de la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase de Ethernet síncrona

Limitar la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase de la Ethernet síncrona en un entorno de red de área extensa es una condición necesaria para cumplir los límites de red.

La función de sincronización dentro del conmutador Ethernet que sirve de soporte de la Ethernet síncrona debe basarse en las características de calidad de funcionamiento de un reloj integrado. Este reloj deberá estar en consonancia con [UIT-T G.8262] para garantizar el buen funcionamiento de la red cuando dicho reloj se sincroniza con otro reloj similar de Ethernet síncrona o con un reloj de

mayor calidad. La utilización de un reloj de red de este tipo garantiza la conformidad con el interfuncionamiento de sincronización cuando esta solución de Ethernet síncrona se combina con SSU de [UIT-T G.812] o el equipo de sincronización autónomo (SASE) y, por ende, con un PRC de [UIT-T G.811], como se especifica en los modos de funcionamiento basados en la sincronización maestro-subordinado. Asimismo, permite el interfuncionamiento entre las redes TDM existentes y las nuevas arquitecturas de red de paquetes.

Hay que señalar además que este trabajo no tiene repercusión alguna en las especificaciones [IEEE 802.3] para la tolerancia de frecuencia, etc., sino que se refiere a la nueva funcionalidad adicional reloj de elemento de red.

A.3 Consideraciones relativas al diseño de redes de sincronización basadas en Ethernet síncrona

El diseño adecuado de la red de sincronización es una condición necesaria para garantizar que la señal de temporización de referencia se distribuye con la calidad y fiabilidad necesarias.

Esto también es aplicable al caso en el que la red de sincronización se basa en Ethernet síncrona.

En particular, dado que la arquitectura de las redes de sincronización basadas en Ethernet síncrona puede ser más compleja que las redes de sincronización basadas en SDH (por ejemplo, debido a la estructura en malla y a la posible implementación de equipos que no admiten la Ethernet síncrona), la planificación de sincronización resulta aún más importante.

En particular, al efectuar el diseño se habrá de analizar todos los elementos de red que intervienen en el camino de sincronización.

Estos deberán implementar el EEC o (en el caso de algunos elementos de red sencillos como los dispositivos de 2 puertos) como mínimo alguna función de temporización de paso, como se realiza para los regeneradores SDH.

Queda en estudio la función de temporización de paso para equipos de Ethernet síncrona.

NOTA 1 – Las características de los relojes incluidos en el equipo desplegado al final de la cadena de sincronización dependen de la aplicación específica implementada en el equipo final. Las características de estos relojes pueden apartarse de algunas de las especificaciones de EEC. Este asunto será objeto de un estudio ulterior.

Otro aspecto importante que se debe considerar está relacionado con al manejo adecuado del SSM en la cadena de sincronización.

El mensaje de estado de sincronización (SSM) proporciona un mecanismo con el que los EEC en sentido descendente determinan la trazabilidad del esquema de distribución de sincronización de retorno al PRC o al reloj de mayor calidad de que se disponga. La función de sincronización procesa el SSM.

En condiciones de fallo de red en el sentido ascendente, la función de sincronización realiza las acciones apropiadas en base al SSM, fija prioridades y selecciona una alimentación de sincronización alternativa. Puede ser la alimentación de otra red o una alimentación externa.

La principal función del SSM en las redes Ethernet síncronas, como en el caso de las redes SDH, es también servir de soporte al diseño de las redes de sincronización para gestionar adecuadamente las averías.

NOTA 2 – El SSM puede contribuir a prevenir los bucles de temporización, aunque sigue resultando obligatoria una planificación apropiada para evitar los bucles de temporización.

El SSM en las redes Ethernet síncronas no siempre podrá detectar si el enlace proviene de un equipo (o enlace) que no soporta Ethernet síncrona (y que podría, por ejemplo, haberse insertado por error en el camino de sincronización). Como ya se ha mencionado, esta situación deberá impedirse mediante el adecuado diseño de red de sincronización.

En el futuro se pueden obtener beneficios importantes de la definición de funciones SSM más adelantadas (por ejemplo, que transporten información sobre todo el trayecto de sincronización).

Al diseñar una red de sincronización, debe garantizarse que el SSM se tramita en todos y cada uno de los elementos de red que puedan alterar el flujo de temporización (por ejemplo, debido a un reloj interno que entra en modo de régimen libre).

También debe garantizarse que la temporización se distribuye con buena calidad, aun cuando no se admita el SSM.

El proceso de selección en el equipo receptor de la señal de temporización de referencia se puede configurar para utilizar o no el SSM entrante.

En [UIT-T G.8264] se proporcionan más detalles sobre el SSM para Ethernet síncrona.

NOTA 3 – Además del SSM, en [b-UIT-T G.781] se consideran otras degradaciones tales como la pérdida de señal que se puede utilizar para descalificar referencias de temporización.

A.4 Ejemplo de distribución de temporización a través de Ethernet síncrona

La Figura A.2 muestra un ejemplo de distribución de temporización por Ethernet síncrona. La temporización se distribuye desde el PRC a las IWF a través de la red con conmutación de paquetes.

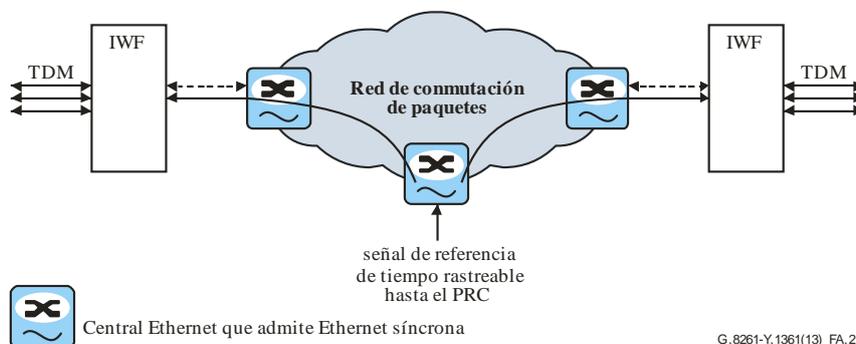


Figura A.2 – Ejemplo de distribución de temporización a través de Ethernet síncrona

A.5 Interfuncionamiento de las interfaces entre Ethernet y Ethernet síncrona

A.5.1 Definiciones del tipo de interfaz y del modo de funcionamiento

Las interfaces de Ethernet son no síncronas de conformidad con [IEEE 802]. Al introducir la Ethernet síncrona, hay que distinguir entre diferentes tipos de puertos Ethernet además de diferentes modos de funcionamiento relacionados con la sincronización. Se definen los siguientes modos (véase [UIT-T G.8264]):

- modo de funcionamiento no síncrono;
- modo de funcionamiento síncrono.

El modo por defecto para una interfaz Ethernet síncrona es el modo de operación no síncrono. Véase el Cuadro A.1.

Cuadro A.1 – Definiciones del tipo de interfaz y del modo de funcionamiento

Tipo de interfaz	Modo de funcionamiento	Proceso QL	Proceso ESMC
Ethernet	Modo no síncrono	No	No
Ethernet síncrona	Modo no síncrono	No	No
	Modo síncrono (QL-modo habilitado)	Activo, todos los valores	Si
	Modo síncrono (QL-modo inhabilitado)	Inactivo	Opcional

Además de un puerto de Ethernet síncrona que sea capaz tanto de transmitir como de recibir temporización, se pueden considerar puertos que aporten una función de Ethernet síncrona reducida. Una funcionalidad de Ethernet síncrona reducida implica la capacidad de soportar sincronización en un único sentido. Existen dos tipos posibles de interfaces de Ethernet síncrona reducida.

- 1) Ethernet síncrona con un único puerto de transmisión: este tipo de puerto realiza todas las funciones de transmisión de Ethernet síncrona, es decir, transmite mensajes de nivel de calidad (QL) por el canal de mensajería de sincronización de Ethernet (ESMC), y transmite el reloj EEC físico por la línea Ethernet.
- 2) Ethernet síncrona con un único puerto de recepción: este puerto realiza todas las funciones de recepción de Ethernet síncrona, es decir, recibe y procesa mensajes QL a través de ESMC y recupera el reloj de línea física Ethernet, considerándolo un candidato de sincronización.

El uso de nodos con una funcionalidad de Ethernet síncrona reducida debe considerarse con cautela en la planificación de redes de sincronización. Este tipo de nodos se utilizarán probablemente al final de una cadena de sincronización.

Cuadro A.1a – Funcionalidad de Ethernet síncrona reducida con QL habilitada

Tipo de interfaz	Modo de funcionamiento	Proceso QL	Proceso ESMC
Funcionalidad de Ethernet síncrona reducida (QL habilitada)	Modo síncrono (sólo Tx)	Activo (sólo extremo Tx)	Extremo Tx: Si Extremo Rx: Opcional
	Modo síncrono (sólo Rx)	Activo (sólo extremo Rx)	Extremo Rx: Si Extremo Tx: Opcional

Cuadro A.1b – Funcionalidad de Ethernet síncrona reducida con QL inhabilitada

Tipo de interfaz	Modo de funcionamiento	Proceso QL	Proceso ESMC
Funcionalidad de Ethernet síncrona reducida (QL inhabilitada)	Modo síncrono (sólo Tx)	Inactivo	Opcional
	Modo síncrono (sólo Rx)	Inactivo	Opcional

A.5.2 Requisitos de interfuncionamiento

El Cuadro A.2 muestra los requisitos de interfuncionamiento entre los diferentes tipos de interfaz y de modos de funcionamiento. Cualquier combinación debe permitir la transmisión adecuada del tráfico por Ethernet. Para utilizar Ethernet síncrona para la sincronización de la red se precisan puertos de Ethernet síncrona en el modo síncrono en ambos extremos de cada uno de los enlaces de sincronización que intervengan en el trayecto de sincronización.

Cuadro A.2 – Interfuncionamiento entre puertos de Ethernet síncrona y Ethernet

Tipo de interfaz		Interfuncionamiento del tráfico con			Sincronización de red que interfunciona con		
		Ethernet	Puerto de Ethernet síncrona		Ethernet	Puerto de Ethernet síncrona	
Modo de funcionamiento		Modo no síncrono	Modo síncrono		Modo no síncrono	Modo síncrono	
Ethernet	Modo no síncrono	✓	✓	✓	✗	✗	✗
Ethernet síncrona	Modo no síncrono	✓	✓	✓	✗	✗	✗
Ethernet síncrona	Modo síncrono	✓	✓	✓	✗	✗	✓

✓ El interfuncionamiento es posible
✗ El interfuncionamiento no es posible

A.5.3 Interfuncionamiento en frecuencia

Ethernet funciona con una desviación de frecuencia máxima de ± 100 ppm.

Ethernet síncrona en el modo de sincronización utiliza la sincronización de red obtenida del PRC. El caso más desfavorable es en régimen libre con una desviación de frecuencia máxima de $\pm 4,6$ ppm.

Para la recuperación de datos, la tolerancia de entrada de la frecuencia de Ethernet síncrona debe ser de ± 100 ppm.

El Cuadro A.3 muestra los requisitos para el interfuncionamiento en términos de frecuencia.

Cuadro A.3 – Interfuncionamiento en frecuencia

Tipo de interfaz	Modo de funcionamiento	Frecuencia		
		Desviación de frecuencia máxima de salida	Tolerancia de entrada	
			Para la recuperación de datos	Para la recuperación de reloj
Ethernet	Modo no síncrono	± 100 ppm	± 100 ppm	No se aplica
Ethernet síncrona		Podría engancharse al EEC o, en otro caso, ± 100 ppm		
Ethernet síncrona	Modo síncrono (Nota)	Enganchado al EEC (en el caso más desfavorable $\pm 4,6$ ppm)		Máximo $\pm 4,6$ ppm

NOTA – Para los modo QL-habilitada y QL-inhabilitada.

A.5.4 Interfuncionamiento en ruido

Ethernet especifica la fluctuación de fase de conformidad con el IEEE. La fluctuación lenta de fase no es un problema para el funcionamiento del tráfico de Ethernet.

La fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase para las interfaces síncronas se especifican de conformidad con el UIT-T. En el caso de interfaces de Ethernet síncrona en el modo de funcionamiento síncrono, los requisitos correspondientes se especifican en [UIT-T G.8261] y [UIT-T G.8262].

Para la recuperación de datos, debe estar disponible una interfaz de Ethernet síncrona para tolerar la fluctuación lenta de fase proveniente de las interfaces de Ethernet. El Cuadro A.4 muestra los detalles.

Cuadro A.4 – Interfuncionamiento en ruido

Tipo de interfaz	Modo de funcionamiento	Ruido					
		Generación de ruido de salida máximo		Tolerancia al ruido a la entrada del equipo			
		Fluctuación de fase	Fluctuación lenta de fase	Para la recuperación de datos		Para la recuperación de reloj	
				Fluctuación de fase	Fluctuación lenta de fase	Fluctuación de fase	Fluctuación lenta de fase
Ethernet	Modo no síncrono	Según el IEEE	No se aplica	Según el IEEE	No se aplica	No se aplica	No se aplica
Ethernet síncrona							
Ethernet síncrona	Modo síncrono	De conformidad con G.8261 (Red) y G.8262 (Equipo)				De conformidad con G.8262	

A.5.5 Mediciones de la fluctuación de fase

Las mediciones de la fluctuación de fase en puertos Ethernet son las del IEEE. La medición de fluctuación de fase de IEEE utiliza el método de diagrama en ojo y de succión. En el caso de interfuncionamiento de recuperación de datos, las interfaces de Ethernet síncrona deben medirse de la misma manera.

En el caso de interfuncionamiento de sincronización de interfaces de Ethernet síncrona en el modo de funcionamiento síncrono, las especificaciones de fluctuación de fase figuran en [UIT-T G.8261] y [UIT-T G.8262].

Las mediciones de la fluctuación de fase para las interfaces de Ethernet síncrona en el modo de funcionamiento síncrono quedan en estudio. Véase el Apéndice X.

El Cuadro A.5 ofrece un resumen.

Cuadro A.5 – Medición de la fluctuación de fase

Tipo de interfaz	Modo de funcionamiento	Tolerancia de entrada de fluctuación de fase	Generación de ruido de fluctuación de fase	Transferencia de ruido de fluctuación de fase	Límites de red
Ethernet	Modo no síncrono	Según el IEEE	Según el IEEE	No se aplica	No se aplica
Ethernet síncrona					
Ethernet síncrona	Modo síncrono	Queda en estudio, véase el Apéndice X para las mediciones de fluctuación de fase			

A.5.6 Mediciones de la fluctuación lenta de fase

Los requisitos de la fluctuación lenta de fase no están especificados en las interfaces de Ethernet.

Las mediciones de la fluctuación lenta de fase para las interfaces de Ethernet síncrona en el modo de funcionamiento síncrono quedan para un estudio ulterior. Véase el Apéndice X.

El Cuadro A.6 ofrece más detalles.

Cuadro A.6 – Medición de la fluctuación lenta de fase

Tipo de interfaz	Modo de funcionamiento	Tolerancia de entrada de fluctuación lenta de fase	Generación de ruido de fluctuación lenta de fase	Transferencia de ruido de fluctuación lenta de fase	Límites de red
Ethernet	Modo no síncrono	No se aplica.			
Ethernet síncrona					
Ethernet síncrona	Modo síncrono	Queda en estudio, véase el Apéndice X para las mediciones de fluctuación de fase			

NOTA –En [UIT-T G.8264] se facilitan consideraciones sobre las interfaces y el equipo con funcionalidades reducidas de Ethernet síncrona.

Anexo B

Partición funcional de IWF en CES y PNT IWF y ejemplos de red

(Este anexo forma parte integral de la presente Recomendación.)

B.1 Generalidades

La IWF es el bloque funcional que traduce los datos de una red TDM a una red de paquetes y viceversa (véase la Figura B.1).

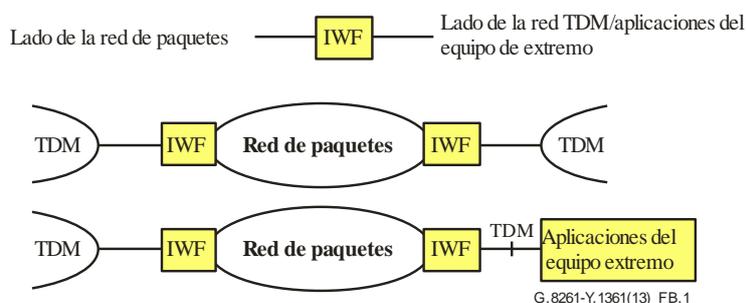


Figura B.1 – IWF en la red

En algunas aplicaciones, la función en la IWF puede cambiar la capa en la que se está llevando a cabo la temporización (es decir, puede pasar de la capa de paquetes a la física y viceversa), véase la Figura B.2.

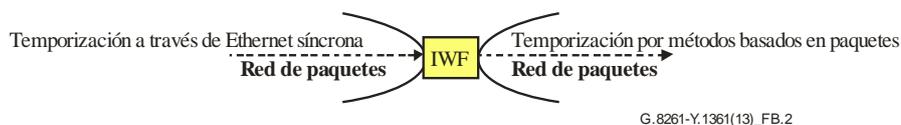


Figura B.2 – Cambio por la IWF de la capa sobre la que se lleva a cabo la temporización

La IWF se define a partir de una estructura de dos dominios (véase la Figura B.3), con una "CES IWF" que se ocupa de los aspectos de sincronización del dominio de reloj de servicio y una "PNT (temporización de red de paquetes) IWF" que se ocupa de los aspectos de sincronización del dominio de red de sincronización.

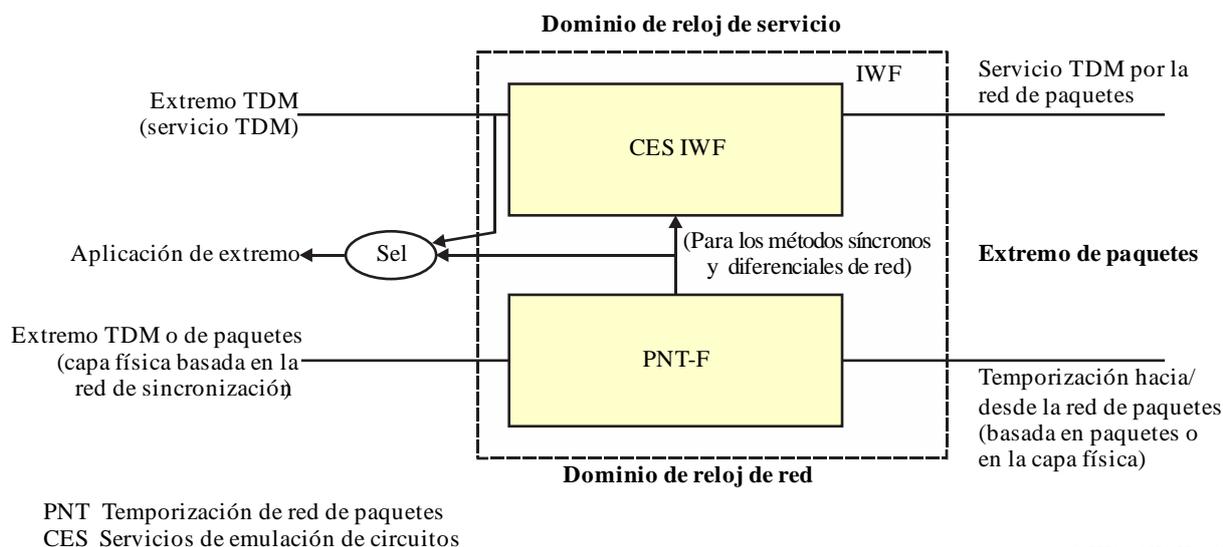


Figura B.3 – Dominios CES y PNT en la IWF

La CES IWF, en particular, debe recuperar la temporización de los servicios que se transportan por la red de paquetes (recuperación de la señal de reloj de servicio), así como soportar adecuadamente la generación de paquetes CES hacia la red de paquetes.

Como se describe en la cláusula 8, son posibles los siguientes métodos de funcionamiento:

- funcionamiento síncrono de la red;
- métodos diferenciales;
- métodos adaptativos;
- reloj de referencia disponible en los sistemas TDM de extremo.

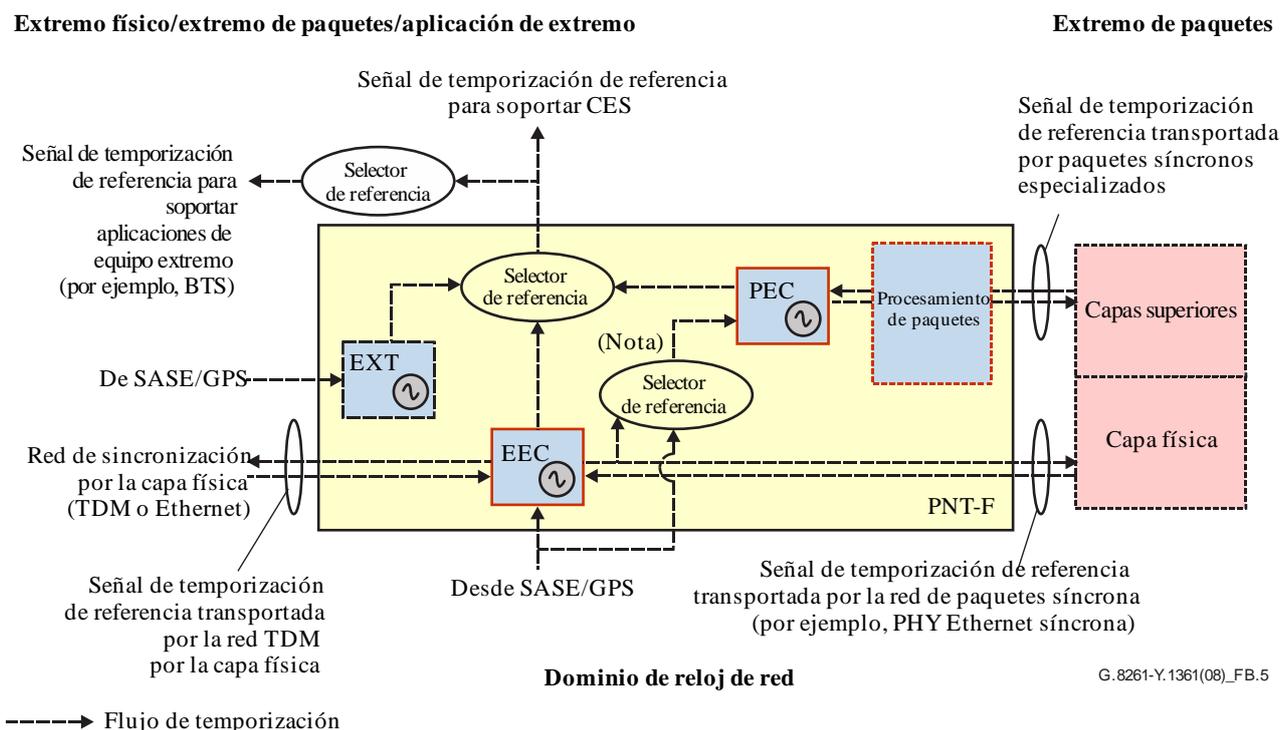
En función de los métodos aplicables, se pueden necesitar diferentes tipos de reloj para incluirlos en la CES IWF, como se muestra en la cláusula B.3.

La distribución de temporización hacia/desde la PNT IWF se puede realizar siguiendo métodos tradicionales o métodos nuevos. De hecho, este bloque puede recuperar la temporización de la red de sincronización ya sea desde el extremo TDM (por ejemplo, desde la SDH), o desde el extremo de paquetes (por ejemplo, Ethernet síncrona o nuevos métodos basados en paquetes especializados). La lista siguiente es un ejemplo de posibles casos para la distribución de temporización hacia/desde la PNT:

- referencia externa especializada (por ejemplo, desde SASE);
- por la capa física síncrona (por ejemplo, SDH, Ethernet síncrona). Temporización transportada por paquetes (por ejemplo, [b-IEEE 1588], NTP).

En algunos casos, la PNT IWF debe entregar a la CES IWF una señal de temporización de referencia precisa derivada de la red de sincronización. De hecho, la CES IWF puede necesitar esta referencia para soportar el mecanismo de recuperación de reloj: esto aplica a los métodos síncrono de red y diferencial. La cláusula B.2 ofrece más detalles.

En el extremo de paquetes de la CES IWF, la función de sincronización se ocupa de los paquetes de "datos de usuario". Por ejemplo, en el sentido de paquete a TDM y, en el caso de métodos adaptativos, la temporización TDM se recupera mediante algún algoritmo de filtrado basado en el intervalo entre llegadas de los paquetes (PSC-A se encarga de esta función). El bloque "R" en la CES IWF se utiliza para generar la temporización TDM: en el caso de la función de temporización de bucle se puede recuperar y se puede utilizar para controlar el flujo de paquetes en el sentido de TDM a paquetes (por ejemplo, para generar los mensajes de temporización utilizados por el método diferencial). En particular, el bloque "Procesamiento de paquetes" es el responsable de la generación de los mensajes de temporización que soportan el método diferencial (para este fin se necesitan tanto el reloj de red como la temporización TDM) y de la generación de los paquetes con una velocidad relacionada directamente con la temporización TDM (válido para todos los métodos). La Figura B.5 muestra los relojes en PNT-F que soportan la distribución de temporización de referencia a través de las redes de paquetes (véase la cláusula 7).



NOTA – Señal de temporización de referencia para soportar la generación de temporización hacia el extremo de paquetes.

Figura B.5 – Relojes en la PNT-F

NOTA 2 – En la figura no se muestran todas las interacciones entre los bloques en la PNT.

NOTA 3 – En la PNT se puede implementar un reloj diferente en el caso de temporización transportada sólo por TDM (por ejemplo, SDH). Este reloj se basará en las Recomendaciones pertinentes (por ejemplo, [UIT-T G.813]).

A partir de la Figura B.5, se definen los siguientes relojes PNT (relojes de red de sincronización):

- PEC: reloj que recupera y envía la temporización de red mediante paquetes especializados.
- EEC: reloj que soporta la temporización transportada a través de Ethernet síncrona (véase [UIT-T G.8262]).
- EXT: temporización de una señal de temporización de referencia externa especializada (por ejemplo, SASE/GPS).

La información detallada sobre el PEC queda en estudio.

El PEC y el EEC manejan el reloj red y, por lo tanto, una frecuencia por red. Hay un reloj/frecuencia por equipo. Se precisa el modo de régimen libre para estos relojes.

El PEC puede ser capaz de manejar paquetes bidireccionales (por ejemplo, PTP, NTP).

Cabe destacar que el PSC-A y el PEC pueden estar basados en una implementación similar puesto que ambos están basados en un método adaptativo, aunque pueden aplicar requisitos diferentes. Además, mientras el PSC-A únicamente debe finalizar la distribución de temporización (se ocupa de la recuperación de la temporización de servicio TDM para la generación posterior del flujo TDM), el PEC puede en principio formar parte de una cadena de distribución de sincronización.

El reloj EXT puede estar basado en otras Recomendaciones UIT-T pertinentes (por ejemplo, [UIT-T G.812], y [UIT-T G.813]).

Hay que decir que, dependiendo de la aplicación de red, sólo algunas de las funciones (y sólo algunos de los relojes) que se muestran en las Figuras B.4 y B.5 deben implementarse en la IWF. Por ejemplo, no se precisa el reloj EXT si en la PNT existen otros relojes instalados (por ejemplo, EEC): podrían ocuparse de recibir la referencia externa para utilizarla en su lugar en el sistema. Como se muestra en la Figura B.5, también se puede disponer de una señal de temporización de referencia para soportar aplicaciones de equipos de extremo (por ejemplo, BTS).

La señal de temporización de referencia saliente que se muestra en la Figura B.4 también podría ser transportada por una señal CES. La señal de temporización recuperada podría estar disponible como interfaz externa (por ejemplo en cumplimiento de [UIT-T G.703]) o podría encontrarse dentro del sistema (en este caso, la IWF está integrada en la aplicación de extremo que utiliza esta referencia de temporización).

En el Apéndice IX se proporcionan ejemplos de aplicaciones IWF típicas.

En la cláusula B.3 se describen ejemplos sobre aplicaciones de red.

NOTA 4 – Además de los relojes IWF, se pueden instalar relojes en otros elementos de red de la red de paquetes. Un ejemplo típico es el EEC en los conmutadores de Ethernet que forman parte de la cadena de distribución de sincronización. En este caso, el elemento de red solo implementa funciones PNT y las funciones de sincronización se pueden representar mediante el reloj correspondiente (por ejemplo, EEC).

De forma más general, en el caso en que no existan funciones CES y de que el EEC esté conectado en ambos extremos al mismo tipo de capa física (por ejemplo, Ethernet síncrona), no hay IWF.

B.3 Ejemplos de red

En las siguientes figuras se muestran algunos ejemplos de red para entender mejor el modelo presentado en las Figuras B.1 y B.2.

La Figura B.6 muestra la recuperación de reloj de servicio TDM basada en un método síncrono de red: en este ejemplo, la señal de temporización de referencia (reloj de red) se distribuye desde la PNT IWF que tiene acceso al PRC (por ejemplo, GPS), hacia la PNT/CES IWF en los bordes de la red de paquetes (por ejemplo, a través de Ethernet síncrona). La temporización del servicio TDM se obtiene de este reloj de red (por ejemplo, método síncrono de red).

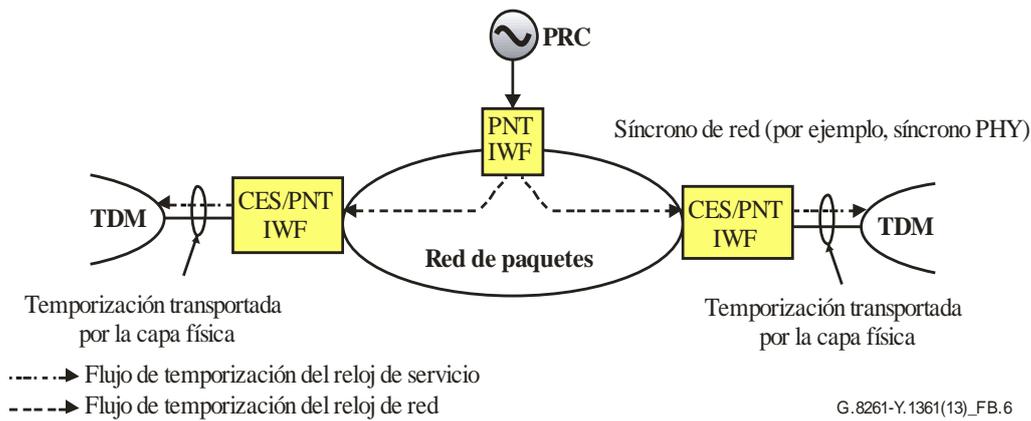


Figura B.6 – Ejemplo de recuperación de temporización basada en el método síncrono de red

La Figura B.7 presenta la recuperación del reloj de servicio basada en el método diferencial. En este ejemplo, la PNT IWF distribuye la señal de temporización de referencia a la CES/PNT IWF de que utilizará esta señal para implementar un método diferencial (el flujo proveniente de la IWF del extremo izquierdo hacia la IWF del extremo derecho representa la distribución de la información diferencial mediante mensajes de temporización).

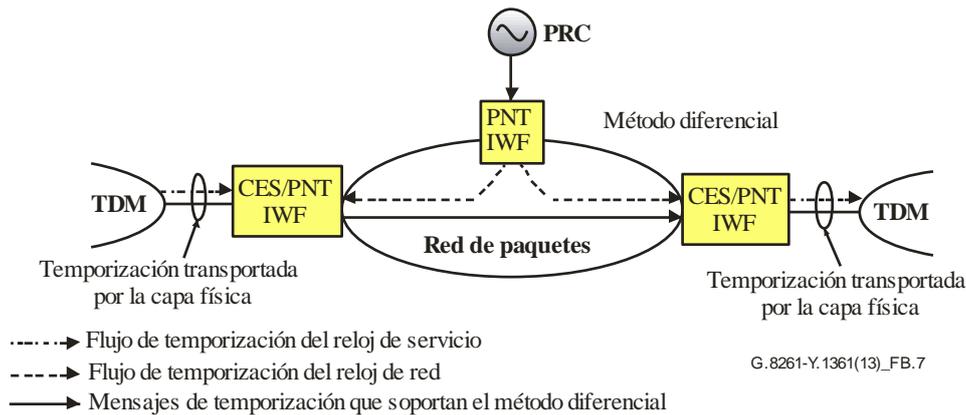


Figura B.7 – Ejemplo de recuperación de temporización basada en el método diferencial

La Figura B.8 muestra un ejemplo de recuperación del reloj de servicio mediante un método adaptativo. En este caso, no se precisa ninguna señal de temporización de referencia (y de hecho, no se muestra ninguna PNT IWF en la figura).

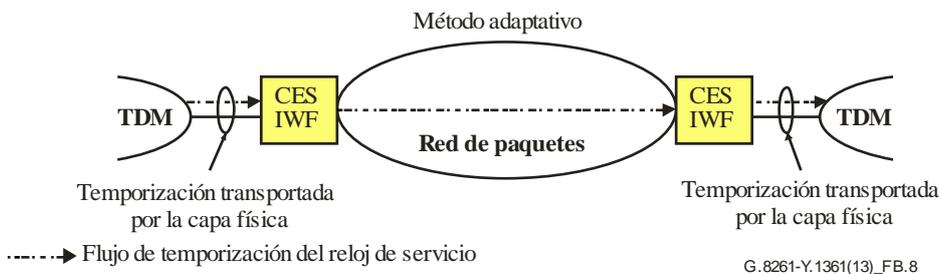


Figura B.8 – Ejemplo de recuperación de temporización basada en el método adaptativo

Finalmente, la Figura B.9 muestra una PNT IWF con acceso al PRC (reloj de referencia primario) que distribuye la señal de temporización de referencia por la red de paquetes (por ejemplo, a través de Ethernet síncrona) hacia otras PNT IWF en los bordes de la red de paquetes. En el ejemplo la PNT IWF en el lado derecho soporta el requisito de temporización del equipo de extremo. Un ejemplo típico es soportar los requisitos de temporización de un GSM BTS (por ejemplo, 50 ppb en la interfaz radioeléctrica).

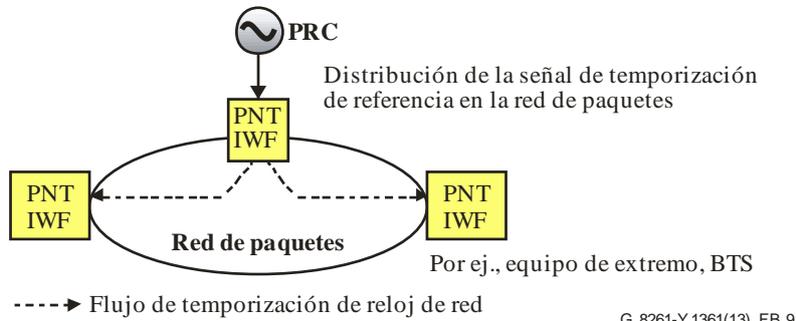


Figura B.9 – Distribución de temporización de referencia entre IWF PNT

Anexo C

Requisitos relacionados con la sincronización de la IWF

(Este anexo forma parte integral de la presente Recomendación.)

C.1 Interfaces de tráfico

Los requisitos que siguen se han tomado de Recomendaciones existentes (por ejemplo, [UIT-T G.823], [UIT-T G.824], etc.).

NOTA – Las interfaces SDH se mencionan en las cláusulas que siguen únicamente a efectos informativos ya que el transporte de las señales SDH por red de paquetes queda en estudio.

C.1.1 Características físicas, eléctricas y ópticas

Las características físicas y eléctricas de las interfaces E0 (64 kbit/s), E11 (1 544 kbit/s), E12 (2 048 kbit/s), todas las interfaces PDH, la interfaz a 51 840 kbit/s (STM-0) y la interfaz ES1 (STM-1) deberán cumplir los requisitos de [UIT-T G.703].

Las características físicas y ópticas de las interfaces STM-1, STM-4 y STM-16 deberán cumplir los requisitos de las Recomendaciones relativas a interfaces físicas pertinentes, por ejemplo, [UIT-T G.957], [UIT-T G.691], [UIT-T G.959.1], etc.

C.1.2 Tolerancia a la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase

La tolerancia a la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase de redes basadas en la jerarquía de 2 048 kbit/s en las interfaces de tráfico E0, E12, E22, E31 y E4 deberá cumplir los requisitos de la cláusula 7.1 de [UIT-T G.823].

La tolerancia a la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase a la entrada de redes basadas en la jerarquía de 1 544 kbit/s en las interfaces de tráfico E11, E21 a 32 064 kbit/s, E32 y a 97 728 kbit/s deberá cumplir los requisitos de la cláusula 7.2 de [UIT-T G.824].

La tolerancia a la fluctuación de fase a la entrada de redes basadas en la SDH en las interfaces de tráfico STM-1e, STM-1, STM-4 y STM-16 deberá cumplir los requisitos de la cláusula 6.1.2 de [UIT-T G.825]. La tolerancia a la fluctuación de fase a la entrada en las interfaces de tráfico a 51 840 kbit/s deberá cumplir los requisitos de la cláusula 16.3 de [UIT-T G.703].

La tolerancia a la fluctuación lenta de fase a la entrada de redes basadas en la SDH en las interfaces de tráfico – a 51 840 kbit/s, STM-1e, STM-1, STM-4 y STM-16 – de conformidad con la cláusula 6.1.1 de [UIT-T G.825], deberá cumplir los requisitos de la cláusula 9.1 de [UIT-T G.812] y la cláusula 8.1 de [UIT-T G.813], la que sea aplicable. Estos requisitos se definen para interfaces de sincronización (SSU y SEC, respectivamente) porque las interfaces de tráfico STM-N se considera que son interfaces de sincronización.

En [UIT-T O.171] y [UIT-T O.172] se definen métodos de medida.

C.2 Interfaces de sincronización

Los siguientes requisitos se han tomado de Recomendaciones existentes (por ej., [UIT-T G.703]).

C.2.1 Características físicas y eléctricas

Las características físicas y eléctricas de la interfaz de sincronización T12 (2 048 kHz) deberán cumplir los requisitos de la cláusula 13 de [UIT-T G.703].

Las características físicas y eléctricas de la interfaz de sincronización E12 (2 048 kbit/s) deberán cumplir los requisitos de la cláusula 9 de [UIT-T G.703].

Las características físicas y eléctricas de la interfaz de sincronización E11 (1 544 kbit/s) deberán cumplir los requisitos de la cláusula 5 de [UIT-T G.703].

C.2.2 Tolerancia a la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase

La tolerancia a la fluctuación de fase a la entrada en las interfaces de sincronización T12 y E12, de acuerdo con la cláusula 7.2 de [UIT-T G.823], deberá cumplir los requisitos de la cláusula 9.2, Tipo I de [UIT-T G.812] para interfaces SSU y la cláusula 8.2, Opción 1 de [UIT-T G.813] para interfaces SEC, la que sea aplicable.

La tolerancia a la fluctuación de fase a la entrada en la interfaz de sincronización E11, de acuerdo con la cláusula 7.3 de [UIT-T G.824], deberá cumplir los requisitos de la cláusula 9.2, tipos II y III de [UIT-T G.812] para interfaces SSU y la cláusula 8.2, Opción 2 de [UIT-T G.813] para interfaces SEC, la que sea aplicable.

La tolerancia a la fluctuación lenta de fase a la entrada en las interfaces de sincronización T12 y E12, de acuerdo con la cláusula 7.2 de [UIT-T G.823], deberá cumplir los requisitos de la cláusula 9.1, Tipo I de [UIT-T G.812] para interfaces SSU y la cláusula 8.1, Opción 1 de [UIT-T G.813] para interfaces SEC, la que sea aplicable.

La tolerancia a la fluctuación lenta de fase a la entrada en la interfaz de sincronización E11, de acuerdo con la cláusula 7.3 de [UIT-T G.824], deberá cumplir los requisitos de la cláusula 9.1, Tipos II y III de [UIT-T G.812] para interfaces SSU y la cláusula 8.1, Opción 2 de [UIT-T G.813] para interfaces SEC, la que sea aplicable.

C.3 Función de sincronización de la IWF

En el Anexo B se proporcionan detalles sobre la función de sincronización de la IWF.

Dependiendo de los servicios que se han de proporcionar, deberá soportarse un subconjunto adecuado de las funciones de temporización descritas en el Anexo B.

En lo que respecta a la CES IWF en la Figura B.4, se recomienda tener control de deslizamientos en el sentido Tx a TDM para controlar el posible desbordamiento por rebasamiento del límite superior/inferior de la memoria intermedia. Los deslizamientos se efectuarán en tramas de $n \times 125 \mu\text{s}$.

Cuando relojes de transmisor y/o receptor TDM estén en el modo de régimen libre o sean rastreables hasta relojes en régimen libre y se utilice una técnica de recuperación de reloj síncrona (método diferencial o funcionamiento síncrono de red), se producirán deslizamientos (muy probablemente no controlados).

Cuando se selecciona una fuente de temporización nueva, la fluctuación lenta de fase a la salida puede sobrepasar temporalmente el límite de fluctuación lenta de fase a la salida. No obstante, la fluctuación lenta de fase a la salida debe estar dentro del límite de fluctuación lenta de fase a la salida al final de un periodo llamado "periodo de estabilización". Los requisitos del periodo de estabilización quedan en estudio; en el Apéndice II se da más información.

Otra característica de interés para la IWF es la latencia. Los requisitos de latencia se definen normalmente a nivel de red especificando la latencia total en la conexión de extremo a extremo. Los requisitos impuestos a la contribución de la IWF a la latencia total quedan en estudio.

La especificación del ruido total que puede introducir un segmento CES se define en la cláusula 9.1 que también define las características de transferencia de ruido del segmento CES total, incluido el par de IWF que adapta el flujo TDM en la red de paquetes.

Anexo D

Aplicaciones de red y requisitos para los relojes especificados en [UIT-T G.8262/Y.1362]

(Este anexo forma parte integral de la presente Recomendación.)

Una red de sincronización conforme con [UIT-T G.803] utiliza PRC, SSU y SEC. Las SSU suelen ser equipos autónomos. La información de temporización se transfiere a través de elementos de red (NE) SDH desde un PRC a una SSU y desde una SSU a una SSU de un nivel jerárquico inferior. En aras de la robustez, se utilizan dos o más rutas, como se ilustra en la Figura D.1-a.

Con la introducción de sincronización en redes con conmutación de paquetes (PSN), los NE con conmutación de paquetes que dan soporte a la Ethernet síncrona deben ser capaces de transferir información de temporización y de interfuncionar con los NE de SDH (por ejemplo, que tengan SEC). Los elementos de red con conmutación de paquetes que dispongan de EEC deben ser capaces de proporcionar líneas de sincronización entre el PRC y las SSU y proporcionar sincronización a aplicaciones sensibles al tiempo. Los nuevos enlaces de temporización a través de las redes con conmutación de paquetes deben estar en consonancia con los enlaces de temporización SDH existentes para el interfuncionamiento con la red de sincronización. En la Figura D.1-b se muestran dos cadenas de sincronización, una formada por los NE de SDH (círculos con "S") y otro formado por NE con conmutación de paquetes que utilizan interfaces de Ethernet síncrona (círculos con E).

Los NE híbridos se describen en el Apéndice I de [UIT-T G.8262/Y.1362]. Ofrecen tanto interfaces STM-N con sus funciones de transconexión SDH-VC asociadas como interfaces de Ethernet síncrona (ETY) con la correspondiente conmutación de paquetes. Debe ser posible utilizar tales NE híbridos en cualquier lugar de las cadenas de sincronización. En la Figura D.1-c se ilustra un ejemplo. El NE híbrido situado en la parte de arriba (círculo con H) utiliza una interfaz STM-N a la entrada y una interfaz ETY a la salida. El NE híbrido de la parte inferior utiliza una interfaz ETY a la entrada y una interfaz STM-N a la salida. La temporización se transfiere de STM-N a ETY y de ETY a STM-N, respectivamente.

Las características del reloj de los EEC admiten la construcción de cadenas de distribución de temporización que ofrece el mismo comportamiento que las cadenas de los SEC (véase la Figura D.1-b).

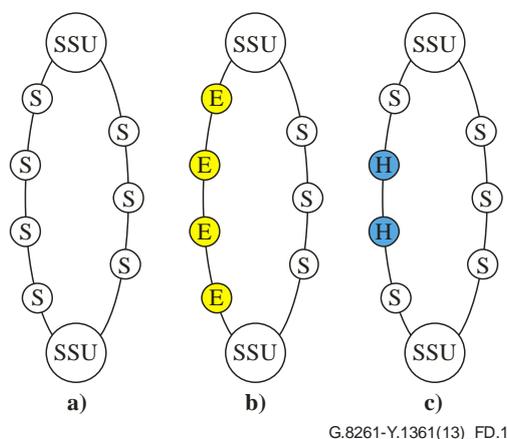


Figura D.1 – Cadenas de sincronización creadas mediante diferentes tipos de NE

Apéndice I

Características de los conmutadores y las redes Ethernet, encaminadores y tecnologías de acceso

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

I.1 Características de los conmutadores y las redes Ethernet

I.1.1 Características de retardo de los conmutadores Ethernet

I.1.1.1 Operaciones funcionales dentro de un conmutador Ethernet

Desde una perspectiva "caja negra", una trama Ethernet pasa a través de cuatro operaciones funcionales en un conmutador Ethernet típico. Son las que se muestran en la Figura I.1.

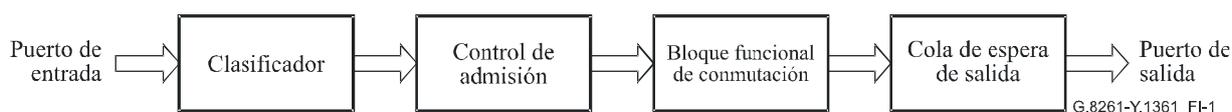


Figura I.1 – Funciones típicas dentro de un conmutador Ethernet

- Clasificación – Identificación del flujo al que pertenece la trama, y determinación del puerto de salida y la prioridad.
- Control de admisión – Aplicación de la gestión de tráfico al flujo (vigilancia, configuración, marcado).
- Conmutación – Reenvío al puerto de salida apropiado;
- Cola de espera de salida – Espera de un intervalo de transmisión en el puerto de salida. Normalmente se aplican políticas de puesta en cola de espera tales como la de prioridad estricta, la puesta en cola justa ponderada (WFQ) o la comparación cíclica por parejas.

En las cláusulas que siguen se examinan las propiedades en cuanto al retardo de diversas funciones dentro de un conmutador.

I.1.1.2 Retardo en la etapa de entrada

El tiempo requerido para las etapas de clasificación y control de admisión debería ser aproximadamente constante en la mayoría de los casos. Sin embargo, dependiendo del diseño del conmutador y de la carga de tráfico en el mismo, el retardo a través de esas funciones puede variar. Por ejemplo, en algunos conmutadores tanto la clasificación como el control de admisión pueden efectuarse aplicando un programa informático en un procesador de red. A plena carga, es posible que el programa informático no sea capaz de admitir el número de tramas que han de ser procesadas, por lo que el retardo puede aumentar y se puede producir el abandono de algunas tramas. Es posible que ocurra lo mismo con algunos diseños basados en el soporte físico.

La Figura I.2 da una visión simplificada de la variación del retardo en la etapa de entrada con la carga del conmutador. En condiciones de carga de tráfico baja, el conmutador puede hacer frente al número de tramas que pasan por él sin añadir nada al retardo. A medida que aumenta la velocidad de las tramas, aunque no se supere la capacidad de procesamiento global del conmutador, la velocidad instantánea de las tramas puede superar la velocidad de procesamiento disponible. Finalmente, la velocidad media de las tramas entrantes puede exceder en algún momento la capacidad de procesamiento haciendo que el retardo se incremente todavía más, y en algunos casos se abandonen tramas debido a la falta de capacidad de almacenamiento en memoria intermedia.

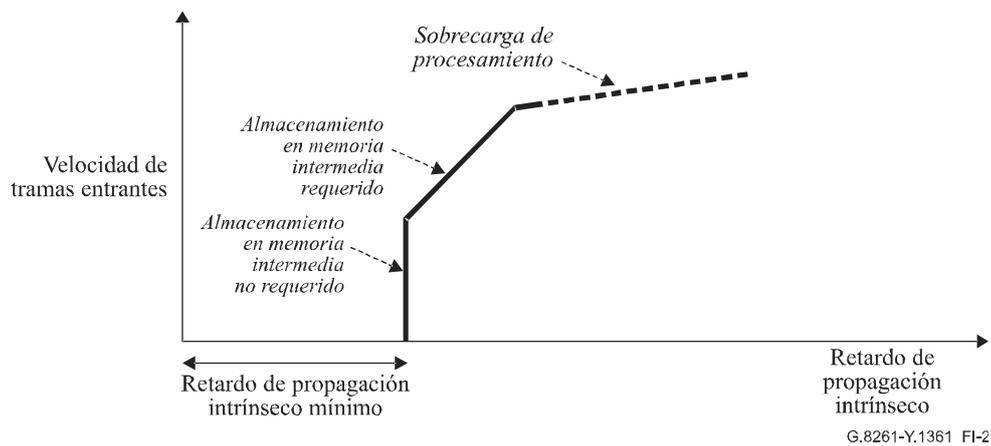


Figura I.2 – Variación del retardo con la carga en la etapa de entrada

I.1.1.3 Retardo del bloque funcional de conmutación

El retardo a través del propio bloque funcional de conmutación depende también tanto de la arquitectura del conmutador como de la carga de tráfico. Por ejemplo, muchos conmutadores utilizan algoritmos de planificación para la conmutación de tramas de puertos de entrada a puertos de salida, lo cual puede dar lugar a una pequeña variación en el retardo de las tramas, dependiendo de su momento de llegada con respecto al "tic" del planificador. Sin embargo, en la mayoría de los casos esta variación del retardo es pequeña debido a la elevada frecuencia a la que trabaja el planificador.

A velocidades de datos entrantes muy elevadas, es posible que el propio bloque funcional de conmutación esté sobrecargado y sea incapaz de manejar el volumen total de tráfico que requiere conmutación. Lo cual dará lugar a que se abandonen tramas.

I.1.1.4 Retardo por espera en cola a la salida

La cantidad de retardo añadido por la espera en cola a la salida dependerá de los criterios de puesta en cola de espera empleados y de la prioridad del flujo de tráfico. Por ejemplo, un flujo de alta prioridad (como podría ser el caso de un flujo de temporización de paquetes) cuando se aplica una política de prioridad estricta podría sufrir retardo por "bloqueo de cabeza de línea". Esto es lo que ocurre si una trama que tiene prioridad máxima llega al puerto de salida justo después de que haya empezado a transmitirse una trama de prioridad baja. La trama de alta prioridad tiene que esperar entonces hasta que haya terminado la transmisión de la otra trama.

La Figura I.3 muestra el perfil del retardo que experimenta un colectivo de tramas de alta prioridad en combinación con una política de puesta en cola de espera de prioridad estricta. Para mayor sencillez, en este diagrama se supone que las tramas experimentan un retardo aproximadamente constante a través de las otras funciones de conmutación, lo que aquí se denomina "retardo de propagación intrínseco a través del conmutador". Una proporción de las tramas llega a la cola de espera a la salida en un momento en que no están siendo transmitidas otras tramas. Esas tramas son transmitidas inmediatamente. El resto tiene que aguardar en la cola de espera mientras se completa la transmisión en curso. Puede haber un retardo adicional debido a la presencia, también en cola de espera, de otros paquetes de alta prioridad.

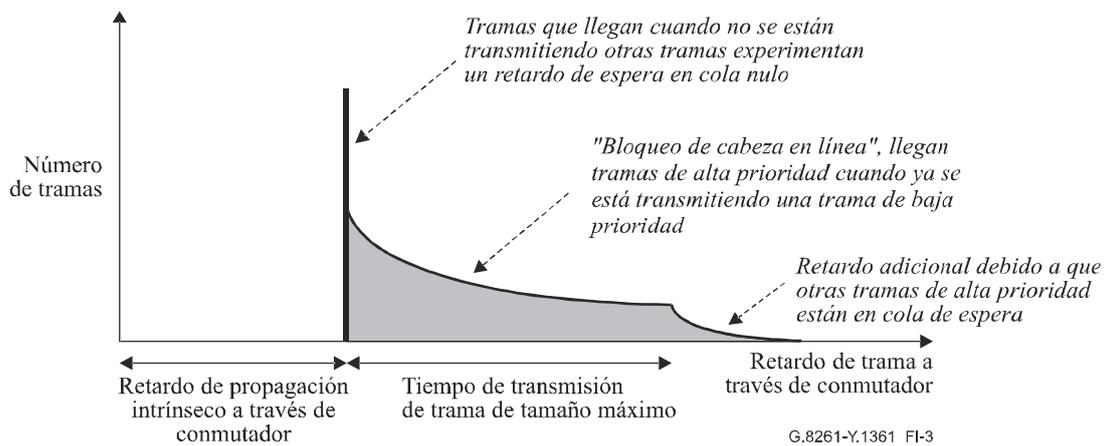


Figura I.3 – Puesta en cola de espera con prioridad estricta: bloqueo de cabeza de línea

I.1.1.5 Retardos típicos en los conmutadores Ethernet

En base al modelo descrito en la cláusula I.1, es posible elaborar un modelo simplificado de los retardos causados por un conmutador Ethernet, identificando dos contribuciones principales.

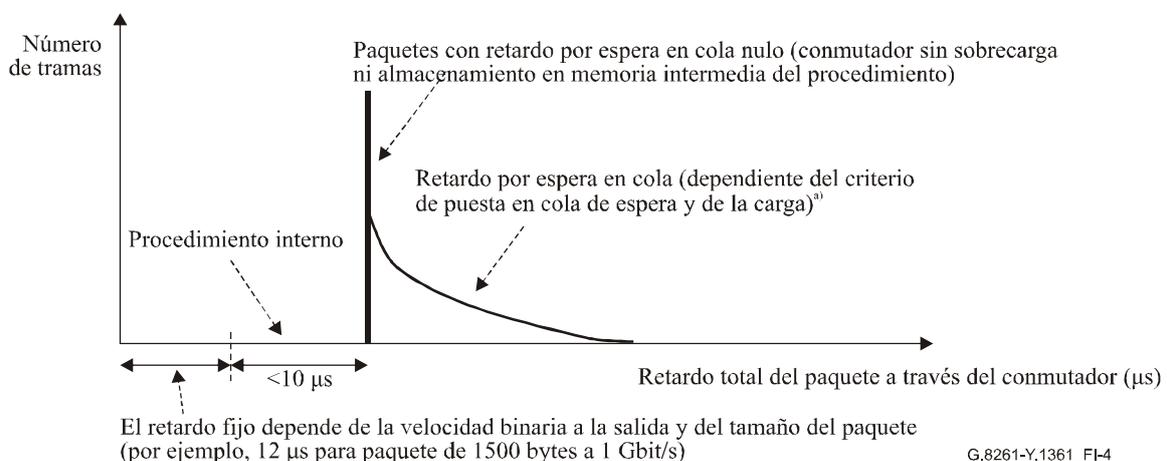
El primer tipo de contribución está relacionado con la clasificación, el control de admisión y las operaciones de conmutación; el segundo tipo de contribución está relacionado con la cola de espera a la salida y la transmisión.

El primer tipo de retardo tiene que ver principalmente, entonces, con la capacidad de procesamiento del conmutador mientras que el segundo depende de la velocidad binaria de la línea saliente (por ejemplo, 1 Gbit/s) y de la política/las prioridades de puesta en cola de espera que se implementen.

En la hipótesis de que el diseño de la red Ethernet no implementa conmutadores Ethernet allí donde el cuello de botella es la capacidad de procesamiento del conmutador Ethernet, cabe suponer que la capacidad de procesamiento contribuiría con valores por debajo de 10 microsegundos (de hecho, un paquete de 1 500 bytes en la cola de espera de salida tarda 12 microsegundos por un enlace a 1 Gbit/s) y además la sobrecarga de procesamiento o el almacenamiento en memoria intermedia del procesamiento no deberían plantear problemas (véase la Figura I.2).

Respecto al segundo tipo de retardo, se trata de un retardo que puede calcularse de acuerdo con el modelo proporcionado en el Apéndice V.

En la Figura I.4 se muestra el modelo simplificado.



^{a)} La pendiente puede variar dependiendo de la distribución del tráfico de la red.

Figura I.4 – Modelo simplificado de los retardos en el conmutador Ethernet

En relación con la Figura I.4, hay que señalar que el procesamiento de la cola de espera puede influir también en la configuración de la distribución de retardos.

I.1.2 Características de las redes Ethernet conmutadas

I.1.2.1 Topología de las redes Ethernet

Si bien son numerosas las distintas topologías de red posibles, para la consideración de un flujo particular a través de una red se pueden modelar esas topologías como una cadena de conmutadores Ethernet según muestra la Figura I.5. En cada conmutador de la cadena, es posible que una trama Ethernet sea retardada debido a los mecanismos descritos en la cláusula I.1. Este retardo se verá afectado por el otro tráfico que fluye a través del conmutador. El tráfico dirigido al mismo puerto de salida influiría en el retardo por espera en cola a la salida, mientras que la suma total del tráfico que fluye a través del conmutador (incluyendo el que fluye hacia otros puertos) afectará a los retardos de procesamiento y del bloque funcional de conmutación.

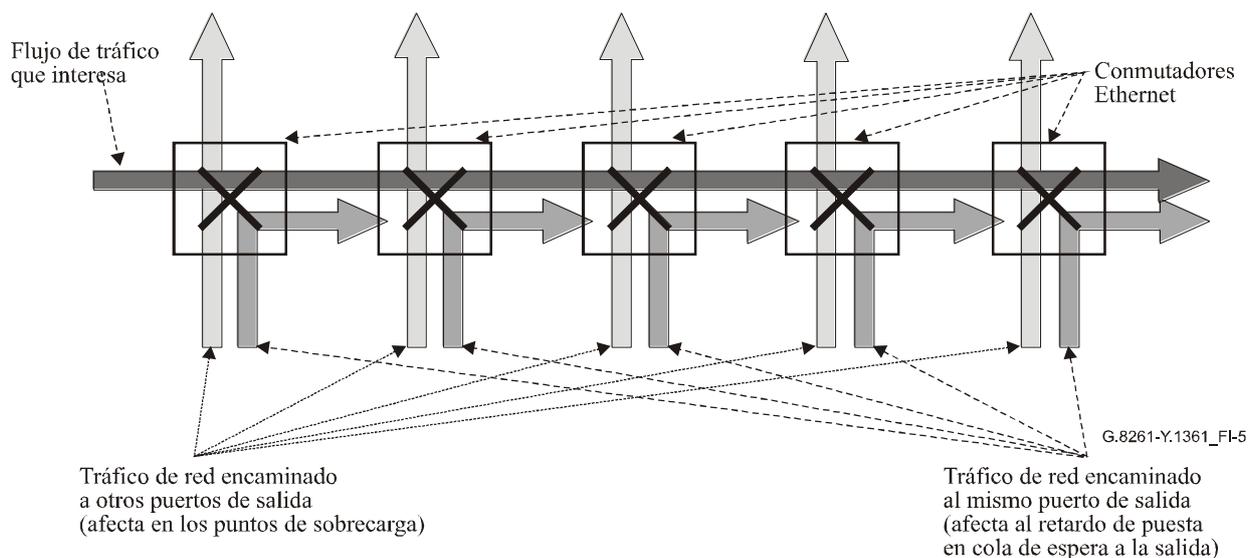


Figura I.5 – Flujos de datos dentro de una red Ethernet

La longitud de la cadena influye en el retardo total del sistema o, dicho más claramente, cuantos más conmutadores haya mayor es el retardo total y mayor es también la variación del retardo. Sin embargo, en muchas redes Ethernet, la longitud de la cadena puede ser muy pequeña. Por ejemplo, en una red jerárquica puede que a menudo sólo haya dos o tres niveles de jerarquía, que generan una longitud de cadena de hasta cinco conmutadores.

En algunos casos se puede emplear topología en anillo. Normalmente el anillo contiene en torno a diez conmutadores, lo que da lugar a una "distancia" máxima alrededor del anillo de cinco conmutadores. Ocasionalmente, se pueden utilizar anillos interconectados, lo cual duplicaría la "distancia" a unos diez.

I.1.2.2 Patrones y niveles de tráfico

Con la excepción del tráfico a velocidad binaria constante y en tiempo real, la mayoría del tráfico de red se produce en forma de ráfagas muy intensas. Se ha constatado que casi a cualquier nivel por el que uno se interese, pueden observarse variaciones del tráfico. Por ejemplo, a un nivel muy pequeño se producen ráfagas debido a la apertura y el cierre del tamaño de la ventana del protocolo de control de transmisión (TCP). A un nivel mayor, pueden producirse ráfagas por la naturaleza de la aplicación (por ejemplo, descargas de grandes ficheros), mientras que a un nivel mayor todavía puede haber ráfagas a causa de la hora del día (por ejemplo, niveles de actividad más altos durante el día que durante la noche).

Cuando se analiza la calidad de funcionamiento de un flujo de transporte TDM, en lo tocante al retardo, se han de tener en cuenta los efectos de otros tráficos por la red. Por ejemplo, en la Figura I.5, cada uno de los tráficos de la red puede estar variando de alguna forma, independientemente de los otros flujos.

[b-UIT-T G.1020] propone la utilización de modelos Markov de cuatro estados para modelar la distribución de la pérdida de paquetes. Podría aplicarse una técnica similar a las longitudes de las ráfagas en cada flujo, lo que haría posible el modelado de ráfagas y grupos de ráfagas. A continuación podría aplicarse un plazo más largo (por ejemplo, el de variación diurna) como una variación gradual de las densidades de las ráfagas.

I.1.2.3 Eventos perturbadores en las redes Ethernet

Hay varios tipos de "eventos perturbadores" que pueden provocar cambios súbitos del retardo en una red Ethernet. Los cambios de retardo resultantes pueden ser permanentes o temporales. Son eventos perturbadores los siguientes:

- una alteración del encaminamiento, que provoca un cambio en escalón permanente en el retardo;
- la sobrecarga temporal de la red, que provoca un cambio importante pero temporal en el retardo;
- la pérdida temporal del servicio, que hace que se pierdan todos los paquetes durante un periodo de tiempo.

I.2 Características de retardo de los encaminadores

Esta cláusula describe las características de retardo de los encaminadores. Existen similitudes con los conmutadores de Ethernet descritos en las cláusulas anteriores.

Con el fin de identificar las posibles fuentes de retardo en un encaminador, resulta útil describir el trayecto que recorre un paquete de temporización cuando está siendo transportado a través de un nodo de red.

Un nodo de red se puede modelar de forma genérica mediante tres segmentos principales:

- 1) segmento de ingreso: corresponde a todas las funciones que pueden utilizar los paquetes de temporización en el nodo de red desde el puerto físico de ingreso hasta la entrada del motor de reenvío del nodo;
- 2) segmento de reenvío: corresponde al motor de reenvío del nodo de red;
- 3) segmento de egreso: corresponde a todas las funciones que pueden utilizar los paquetes de temporización en el nodo de red desde la salida del motor de reenvío del nodo hasta al puerto de egreso.

La figura siguiente ilustra estos tres segmentos principales:

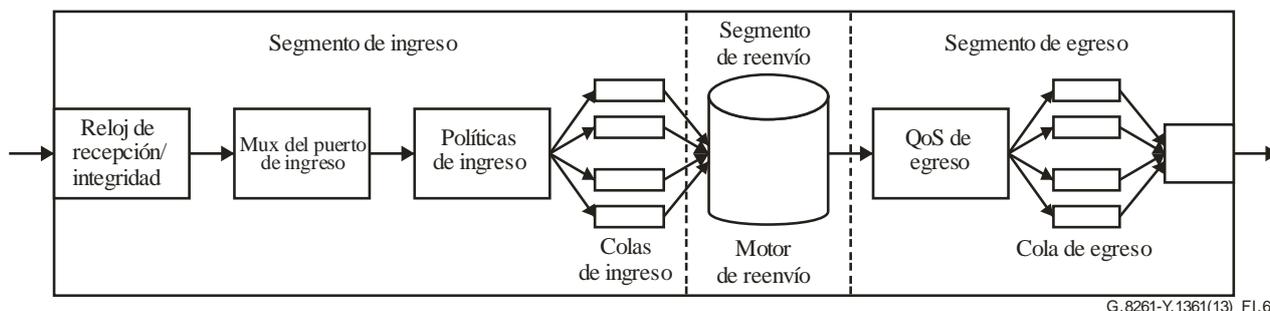


Figura I.6 – Ilustración de los tres principales segmentos de un encaminador

Los modelos que caracterizan cada uno de estos segmentos quedan en estudio.

I.3 Características de retardo de tecnologías de acceso (nodos de microondas, PON, DSL)

Las características de retardo de las tecnologías de acceso (nodos de microondas, PON, DSL) quedan en estudio.

Apéndice II

Periodo de estabilización

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

El periodo de estabilización es un parámetro que puede ser importante durante la fase de arranque (para conseguir que la instalación del equipo se haga de forma rápida) o cuando se conmuta entre referencias de temporización (para limitar el estado transitorio de fase). Si el equipo ha estado funcionando en régimen libre durante largos periodos (por ejemplo, horas), el error de fase al seleccionar una nueva referencia de reloj estaría dominado en gran medida por el error de fase provocado por el error de frecuencia del reloj en régimen libre.

Cuando se utiliza el método adaptativo, el requisito respecto al periodo de estabilización quizás dependa del ruido de fase efectivo en la red de paquetes. De hecho, una variación elevada del retardo de los paquetes en la red de paquetes puede requerir un largo periodo antes de que el reloj se pueda enganchar a la referencia de temporización.

También son importantes la implementación del filtro y las características del oscilador interno. En realidad, dependiendo de las características del régimen libre (por ejemplo, Tipo I vs. Tipo III de [UIT-T G.812]), podría aceptarse una duración mayor cuando se conmutara de una referencia a una segunda referencia, ya que un buen funcionamiento en modo régimen libre permite periodos de enganche más largos (el requisito principal es limitar el error de fase total durante la conmutación de referencia).

Los requisitos del periodo de estabilización quedan en estudio.

A efectos de las pruebas que se detallan en el Apéndice VI, se propone un periodo de estabilización de al menos 900 s en los métodos adaptativos ya que, para caracterizar convenientemente las estadísticas de variación del retardo de los paquetes en una red, podría hacer falta un periodo suficientemente largo.

Apéndice III

Consideraciones sobre métodos basados en paquetes

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

En algunas aplicaciones, se requiere recuperar las señales de temporización de referencia que cumplen con la fluctuación lenta de fase que se puede expresar en función de las máscaras de tráfico de [UIT-T G.823] y [UIT-T G.824]. Bajo ciertas circunstancias, estos límites de red se encuentran dentro de las características de calidad que se pueden conseguir mediante los métodos basados en paquetes en redes de paquetes diseñadas adecuadamente (por ejemplo redes que se pueden modelar como redes presentadas en el modelo A, véase el Apéndice V). Se está actualmente estudiando lo que constituye una red de paquetes diseñada adecuadamente, véase también la cláusula 12.2.2.

En el caso de conectividad móvil, el uso del método basado en paquetes para sincronizar el BTS/Nodo B dependerá de diversos asuntos complejos determinados fundamentalmente por la funcionalidad integrada del BTS/Nodo B.

Deben considerarse las necesidades siguientes:

- 1) la estabilidad del oscilador en el BTS/Nodo_B;
- 2) la interfaz de capa física en el BTS/Nodo_B (por ejemplo, TDM o Ethernet);
- 3) la especificación de tolerancia a la entrada del BTS/Nodo_B (especificada a partir de las máscaras de interfaz de tráfico de [UIT-T G.823]/[UIT-T G.824] por el proyecto común de tecnologías inalámbricas de la tercera generación (3GPP) en el caso de interfaces TDM).

En lo que respecta al punto 1), cuando la única preocupación concierne a la exactitud de frecuencia, un oscilador estable podría permitir relajar los requisitos de la variación del retardo de paquetes en la red puesto que se podría diseñar un periodo más largo de filtrado. Cabe destacar que en las estaciones base normalmente se instalan osciladores estables, debido a la estabilidad a corto plazo requerida en la interfaz radioeléctrica y a los requisitos de régimen libre. Este asunto queda en estudio (por ejemplo, periodo para cumplir un requisito específico después de haber activado el oscilador).

Apéndice IV

Aplicaciones y casos de uso

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

IV.1 Antecedentes

El objeto de este Apéndice es proporcionar alguna información explicativa sobre las tres categorías de casos de uso. Se consideran en particular las situaciones en las que la red de transporte que soporta el caso de uso cambia de PDH/SDH a Ethernet.

Existen tres tipos principales de sincronización importantes. Cada aplicación particular puede tener diferentes necesidades y es preciso garantizar que la red de transporte es capaz de proporcionar esa funcionalidad o el operador de red tendrá que proporcionar métodos alternativos. Las tres categorías de sincronización son:

- 1) la sincronización de frecuencia;
- 2) la sincronización de fase;
- 3) la sincronización de tiempo.

La sincronización de frecuencia se refiere a la armonización de relojes en frecuencia, un proceso al que también se denomina sincronización. La sincronización de fase y la sincronización de tiempo se definen en [UIT-T G.8260]. Para algunas aplicaciones la sincronización de frecuencia puede resultar adecuada; para otras puede necesitarse una combinación de frecuencia y tiempo/fase. Para algunas aplicaciones, se puede especificar el origen del tiempo/temporización y para otras el origen podría ser cualquiera de un conjunto de relojes (maestros).

Véase [UIT-T G.8271] para una descripción detallada de los aspectos sobre la sincronización de fase y de tiempo.

Las tres categorías de caso de uso consideradas son:

- 1) inalámbrica;
- 2) de infraestructura;
- 3) de pasarela de medios.

IV.2 Inalámbrica

IV.2.1 Aplicaciones

En esta categoría general de caso de uso, existen varias aplicaciones importantes. Algunas sólo necesitan información de frecuencia mientras otras requieren información horaria y otras requieren la fase. La aplicación, desde el punto de vista de la aplicación, consiste en aportar la información de temporización adecuada a una estación base (por ejemplo, Nodo B).

IV.2.2 Ejemplos

IV.2.2.1 Estación base GSM (sincronización de frecuencia)\$

El requisito de temporización aplicable a la interfaz radioeléctrica GSM figura en [b-ETSI TS 145 010]. El requisito de la interfaz radioeléctrica para una estación base GSM es una exactitud de frecuencia de ± 50 ppb (partes por millardo). En el caso de picoestaciones base, la precisión puede reducirse hasta ± 100 ppb. La necesidad de este requisito proviene fundamentalmente de la necesidad de soportar el traspaso de móviles entre estaciones base. Cabe destacar que los documentos correspondientes a los requisitos no se ocupan directamente de la interfaz de red (alámbrica). No obstante, en el caso de redes TDM los requisitos de sincronización de las señales de entrada se expresan en términos de enmascaramiento de la fluctuación lenta de fase a la salida,

como se indica en [UIT-T G.823] y [UIT-T G.824] y de la posibilidad de rastreo hasta una fuente PRC.

Debe señalarse que en el caso de la red de acceso radioeléctrico GSM no hay unos requisitos de exactitud de frecuencia tan estrictos para limitar la tasa de deslizamientos.

De hecho, en ese caso se almacenan los datos de un solo usuario en una memoria intermedia relativamente grande (de 10 a 30 ms) y, suponiendo también una exactitud de frecuencia de 50 partes por millardo, los datos se perderían (memoria intermedia vacía o llena) después de unos periodos de tiempo prolongados, mucho más largos si se comparan con los de elementos de red de conmutación clásicos en donde las memorias intermedias que manejan los datos son mucho más pequeñas (125 μ s).

IV.2.2.2 Estación base UMTS FDD (sincronización de frecuencia)

El requisito de temporización aplicable a la interfaz radioeléctrica con dúplex por división de frecuencia (FDD) WCDMA figura en [b-ETSI TS 125 104].

El requisito de interfaz radioeléctrica para estaciones base FDD del sistema de telecomunicaciones móviles universales (UMTS) es de una exactitud de frecuencia de ± 50 ppb; para el modo FDD no existen requisitos de alineación de fase.

En el caso de las redes GSM no hay unos requisitos de exactitud de frecuencia tan estrictos para limitar la tasa de deslizamientos debido al amplio almacenamiento temporal utilizado para almacenar datos de un único usuario.

IV.2.2.3 Estación base UMTS TDD (sincronización de frecuencia y de fase)

El requisito de temporización aplicable a la interfaz radioeléctrica con dúplex por división de frecuencia (FDD) WCDMA figura en [b-ETSI TS 125 105].

El requisito de interfaz radioeléctrica para estaciones base TDD UMTS es de una exactitud de frecuencia de ± 50 ppb; para el modo TDD, el requisito adicional para la alineación de fase de estaciones base vecinas es de 2,5 μ s.

En el caso de redes GSM no hay unos requisitos de exactitud de frecuencia tan estrictos para limitar la tasa de deslizamientos debido al amplio almacenamiento temporal utilizado para almacenar datos de un único usuario.

IV.2.2.4 Estación base 3GPP2 CDMA2000 (sincronización de frecuencia y tiempo)

Las normas CDMA2000 pertinentes son [b-3GPP2 C.S0010-B] y [b-3GPP2 C.S0002-C].

De conformidad con las especificaciones de CDMA2000, la diferencia de frecuencia media entre la frecuencia portadora de transmisión CDMA real y la asignación de frecuencia de transmisión CDMA especificada deberá ser inferior a ± 50 ppb.

En las especificaciones CDMA2000, también se especifica que cada estación base debe utilizar una referencia básica temporal que esté alineada con el tiempo del sistema AMDC. El tiempo del sistema AMDC es síncrono con el tiempo UTC (salvo para los segundos intercalares) y utiliza el mismo origen de tiempo que el GPS. Todas las estaciones base utilizan el mismo tiempo del sistema (con una pequeña tolerancia de error). Para todas las estaciones base, el error de alineación de tiempo piloto debería ser inferior a 3 μ s y debe ser inferior a 10 μ s.

Debido a los requisitos anteriores, en la práctica normalmente se equipa las estaciones base AMDC con receptores GPS.

IV.2.2.5 Estación base TD-SCDMA (sincronización de frecuencia y fase)

El requisito de temporización aplicable a la interfaz radioeléctrica TD-SCDMA se encuentra en [b-3GPP TR 25.836].

El requisito de interfaz radioeléctrica para las estaciones base TD-SCDMA es una exactitud de frecuencia de ± 50 ppb; existe un requisito adicional para la alineación de fase de estaciones base vecinas que es de cerca de $3 \mu\text{s}$ (este requisito se mide comparando la fase entre estaciones base adyacentes). Debido a los requisitos anteriores, en la práctica normalmente se equipan las estaciones base TD-SCDMA con receptores GPS.

IV.2.3 Observaciones

Los requisitos enumerados en las cláusulas anteriores aplican a la interfaz radioeléctrica. Cuando la referencia de tiempo o de frecuencia es transportada por la red, aplican otros requisitos. Estos dependen de diversos factores tales como las características del oscilador de la estación base, la capacidad de filtrado de la estación base radioeléctrica, etc. Por ejemplo, se puede necesitar una exactitud de frecuencia a largo plazo bastante superior a 50 ppb para la señal de temporización de referencia transmitida por la red en el caso en que las interfaces radioeléctricas deban cumplir el requisito de exactitud de frecuencia de 50 ppb. Se ha mencionado en alguna ocasión el valor de 16 ppb (exactitud de frecuencia tipo II de [UIT-T G.812]).

Generalmente, a largo plazo, la señal de temporización de referencia puede oscilar n ppb siempre que se encuentre suficientemente por debajo de la desviación máxima permitida (es decir, $n \text{ ppb} \ll 50 \text{ ppb} \ll 100 \text{ ppb}$, o $\ll 250 \text{ ppb}$ para diferentes casos). Esto da lugar a una máscara MTIE de tolerancia en la que los límites a corto plazo se fijan mediante las máscaras de tráfico de [UIT-T G.823] y [UIT-T G.824] y a largo plazo mediante una línea de n ppb (donde n debe estar por debajo del requisito que aplique en la interfaz radioeléctrica).

NOTA – Se ha notificado que existen casos de estaciones base que son menos tolerantes a la fluctuación lenta de fase a corto plazo que lo especificado por las máscaras de tráfico de [UIT-T G.823] y [UIT-T G.824].

De forma similar, en el caso de que haya que distribuir con precisión el tiempo y/o la fase a las estaciones base radioeléctricas, el presupuesto que hay que asignar a la red podría ser mucho menor que los requisitos definidos por las normas inalámbricas que debe cumplir la interfaz radioeléctrica. Estos aspectos quedan en estudio.

En diversos casos, tales como las situaciones de una estación base GSM, este equipo se despliega y funciona y es capaz de derivar sus necesidades de temporización de la interfaz de tráfico a la red (línea alámbrica), tales PDH o SDH. Si el enlace PDH/SDH se sustituye por un enlace Ethernet o de Ethernet síncrona, se tienen que seguir cumpliendo las necesidades de la estación base.

La distribución de fase/tiempo no es habitual en el caso de enlaces PDH/SDH. La fase y el tiempo precisos se distribuyen habitualmente mediante GPS. Dependiendo de los requisitos de exactitud y de las condiciones de la red, también pueden ser apropiados para este fin métodos basados en indicaciones de tiempo (véase la cláusula 7.2. En algunas instalaciones se utilizan protocolos bidireccionales.

IV.3 Infraestructura

Existen diversas aplicaciones en esta categoría de caso de uso que incluyen el multiplexor de acceso de línea de abonado digital por IP (IP DSLAM, *IP digital subscriber line access multiplexer*), el sistema modular de terminación de módem de cable (M-CMTS, *modular cable modem termination system*), el nodo de acceso multiservicio (MSAN, *multiservice access node*), la terminación de línea óptica (OLT, *optical line termination*), etc. Este asunto queda en estudio.

IV.4 Pasarelas de medios

Queda en estudio.

Apéndice V

Modelos de referencia de las redes de paquetes

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

Los modelos de referencia de las redes de paquetes que han de ser utilizados para caracterizar la calidad de funcionamiento de las redes de paquetes en términos de variaciones del retardo de los paquetes se muestran en la Figura V.1, en la que el modelo A está relacionado con aplicaciones cuyos requisitos de retardo y variación del retardo son muy estrictos, y en la Figura V.2, en la que el modelo B se refiere a escenarios con requisitos de variación del retardo de los paquetes menos severos.

Estos modelos no explican cómo han sido diseñadas las redes de paquetes. Su objetivo es simplemente facilitar una comprensión general de las características de las redes de paquetes típicas.

V.1 Modelos de redes Ethernet

Los modelos siguientes han sido definidos para el caso de redes de Ethernet (Figuras V.1 y V.2).

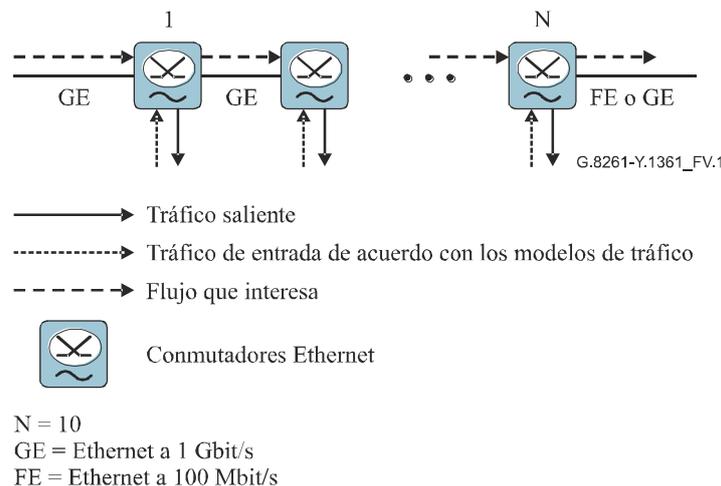


Figura V.1 – Modelo A de referencia de red de paquetes (red Ethernet conmutada)

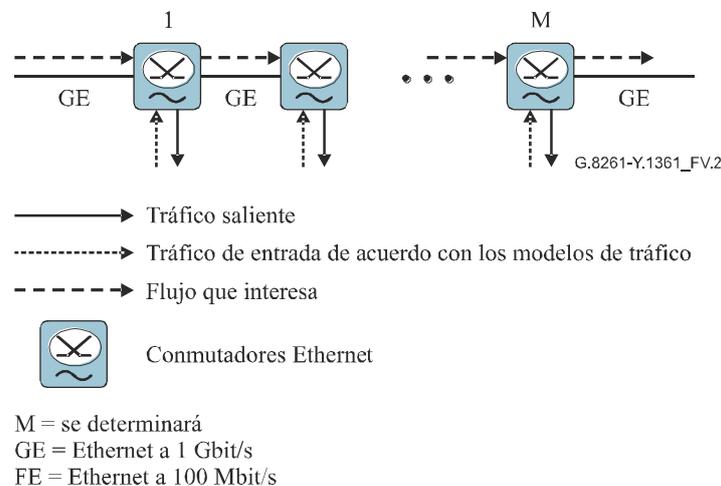


Figura V.2 – Modelo B de referencia de red de paquetes (red Ethernet conmutada)

NOTA 1 – Respecto al número de conmutadores Ethernet ("M") de la Figura V.2, hay un acuerdo general en el sentido de que 20 es un número razonable. Algo que ha de ser confirmado.

NOTA 2 – En los nuevos modelos podrían tomarse en consideración enlaces a 10 Gbit/s.

Se han tendido en cuenta los casos siguientes:

- caso 1: red Ethernet conmutada, consiguiéndose el mejor esfuerzo con sobreaprovisionamiento (una sola cola de espera);
- caso 2: red Ethernet conmutada, calidad de servicio de acuerdo con [IEEE 802.1Q] y [b-IEEE 802.1p] (al menos dos colas de espera, una de ellas especializada en el manejo de datos en tiempo real y disciplina de puesta en cola justa ponderada (WFQ, *weighted fair queuing*));
- caso 3: red Ethernet conmutada, calidad de servicio de acuerdo con [IEEE 802.1Q] y [b-IEEE 802.1p] (con una cola especializada en el manejo de datos utilizados para la recuperación de la temporización, por ejemplo, indicaciones de tiempo).

NOTA 3 – Para comprender la aplicabilidad de los modelos de las Figuras V.1 y V.2, un procedimiento sencillo podría consistir en definir dos escenarios principales de red: red medular que puede utilizarse también para llevar servicios por la red de acceso (por ejemplo, arrendando anchura de banda) y red de acceso especializada. El modelo B (Figura V.2) podría ser el modelo de referencia aplicable sobre todo al primer tipo de red de paquetes (red medular), mientras que el modelo A (Figura V.1) podría ser el modelo de referencia aplicable principalmente a una red de acceso (por ejemplo, una red de acceso inalámbrica).

Respecto a los modelos descritos en la cláusula 9, esto significa que por lo general (en la mayoría de los casos) la isla CE del caso 1 y del caso 3 podría ser caracterizada por el modelo B de referencia de red de paquetes, mientras que la isla CE del caso 2 podría ser caracterizada por el modelo A de referencia de red de paquetes. Un tercer escenario es aquel en que el operador arrienda anchura de banda para conectar dos puntos extremos vía conmutadores Ethernet (por ejemplo, anchura de banda garantizada a 100 Mbit/s sobre transporte a 1 Gbit/s). También en este caso podrían utilizarse los modelos del presente apéndice. Con un acuerdo de nivel de servicio (SLA) apropiado entre el cliente y el operador de red Ethernet, podría suponerse que el tráfico que interfiere en los nodos intermedios es tráfico con menos prioridad. El SLA podría entonces garantizar anchura de banda y aumentar la prioridad, ya que ambas cosas serían elementos clave de un SLA con tarifa recargada como el que podrían demandar, por ejemplo, los operadores celulares a los proveedores de Ethernet. Esto podría considerarse entonces un escenario con características de manejo de tráfico entre el escenario 2 y el escenario 3. Por lo que se refiere al resultado esperado, si se arrienda anchura de banda en una red de paquetes, se conseguirá normalmente una mejor calidad de funcionamiento en comparación con los escenarios 1 y 2.

Las condiciones consideradas básicas para la caracterización de una red de paquetes son:

- carga de tráfico: 60% estática;
- velocidad de paquetes: 10 paquetes por segundo;
- intervalos de observación: 60 minutos;
- modelos de tráfico de acuerdo con el Apéndice VI;
- longitud de paquetes: 90 octetos.

Respecto a las condiciones arriba indicadas, se señala que también cabe tener en cuenta las características de señales a 2 Mbit/s, es decir, paquetes con una cabida útil de 256 octetos y una velocidad de paquetes de 1 000 p/s.

Tomando como base los modelos anteriores, los parámetros siguientes describen el comportamiento típico de la red de paquetes en los diferentes casos:

Cuadro V.1 – Parámetros de los modelos de red pertinentes

Modelo de red		Retardo medio (μ s)	Retardo mínimo + umbral (Nota) (x%) (μ s)
Modelo A	Escenario 1	1400	800 + 1700 (95%) 800 + 800 (50%) 800 + 20 (10%) 800 + 1 (1%)
	Escenario 2	En estudio	En estudio
	Escenario 3	En estudio	En estudio
Modelo B	Escenario 1	En estudio	En estudio
	Escenario 2	En estudio	En estudio
	Escenario 3	En estudio	En estudio
NOTA – Este valor es la variación del retardo máximo para x% de los paquetes (los valores de referencia son 95%, 50%, 10% y 1%).			

NOTA 4 – Los valores se basan en una configuración con enlaces a 100 Mbit/s solamente. Así se tiene un escenario conservador, sobre todo para paquetes con una variación del retardo mayor. Es preciso seguir trabajando en este tema para confirmar y completar el cuadro.

En el Apéndice VI se dan detalles sobre los casos de prueba necesarios para probar la red también en condiciones no estáticas o de fallo.

Se pueden utilizar velocidades de paquetes diferentes para probar aplicaciones diferentes y mejorar la calidad de funcionamiento de los algoritmos de filtrado (esto tienen importancia en los métodos adaptativos o, de manera general, cuando la sincronización se lleva en paquetes).

V.2 Otros modelos de red

Se pueden definir otros modelos de red a partir de las consideraciones proporcionadas en esta cláusula. En particular, esta cláusula destaca las redes compuestas que pueden soportar servicios de emulación de circuitos, mostrando que los diversos diseños de red pueden introducir nuevas variables para la transmisión de la temporización, las características de funcionamiento y los escenarios de pruebas de temporización.

NOTA 1 – La terminología TDM pseudoalámbrica (TDM PW) se utiliza en otros contextos para describir la transmisión de TDM por la red de paquetes y se utilizará en esta cláusula como una forma diferente de abordar los aspectos de los CES.

En particular, los escenarios de red presentados aquí muestran que:

- TDM PW puede estar en un único dominio constituido por una única técnica de transporte (Ethernet, IP o MPLS);
- TDM PW puede estar en un único dominio constituido por diversas técnicas de transporte;
- TDM PW puede estar en diferentes dominios constituidos por técnicas de transporte únicas o diversas;
- una TDM PW que cruza diferentes dominios o técnicas de transporte puede implicar la modificación de las capas de paquetes de la IWF (por ejemplo, de IP a MPLS).

Para la temporización de TDM PW mediante el modelo de recuperación de reloj adaptativo, la diversidad de equipos y los métodos de políticas (por ejemplo, QoS) y de transmisión pueden afectar a la calidad de la temporización recuperada.

Los ejemplos que se ofrecen en esta cláusula son los más comunes y son los que es más probable que se instalen. Sin embargo, no se pretende cubrir todos los casos posibles, tales como cuando se utiliza ingeniería de tunelización del tráfico (disposición de etiquetas MPLS o [b-IEEE 802.1ah]) o la formación de capas (procedimiento de entramado genérico (GFP, *generic framing procedure*), T-MPLS).

Las redes desplegadas están constituidas por diferentes tecnologías. Si se considera por ejemplo una TDM PW, el servicio TDM establecido entre dos IWF puede transitar por múltiples tecnologías de transmisión y dominios de red.

A continuación se ofrecen algunos ejemplos.

En lo que se refiere al acceso, se puede considerar una red Ethernet constituida únicamente por conmutadores Ethernet, como se describe en la Figura V.3.

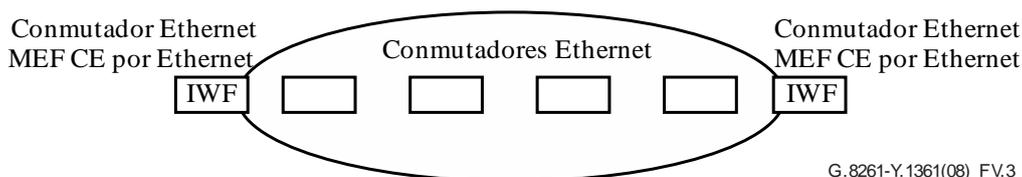


Figura V.3 – Red solo de conmutadores Ethernet

NOTA 2 – El caso que se muestra en esta Figura se puede modelar con los modelos de referencia que se muestran en las Figuras V.1 y V.2.

Podría tratarse también de una red MPLS con dispositivos P e IWF en el borde de proveedor (PE), como se muestra en la Figura V.4.

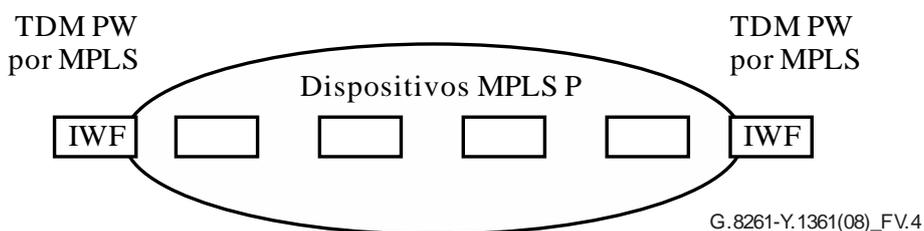


Figura V.4 – Red solo de MPLS PE/P

También podría tratarse de una red IP con encaminadores IP Andy con IWF en los encaminadores como se muestra en la Figura V.5.

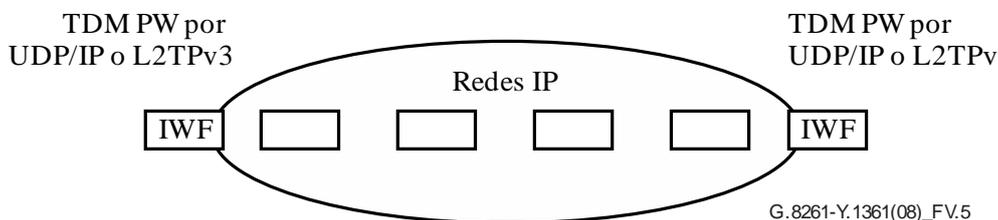


Figura V.5 – Red solo de encaminadores IP

NOTA 3 – Las características de red en términos de variación del retardo de paquetes de los casos que se muestran en las Figuras V.4 y V.5 (salvo cuando se utiliza un suministrador de software) se pueden basar en los resultados de los modelos que se muestran en las Figuras V.1 y V.2.

Sin embargo, las redes actuales a menudo son más complejas; pueden estar constituidas por diferentes tecnologías de transporte incluso dentro de un mismo dominio u operador. Una TDM PW también puede atravesar diferentes dominios.

A continuación se ofrecen cinco ejemplos:

- 1) TDM MPLS PW atravesando una portadora MPLS de un tercero (Figura V.6)



Figura V.6 – Red MPLS por red MPLS

- 2) TDM MPLS PW terminada en dispositivos IWF de distinta portadora (Figura V.7)

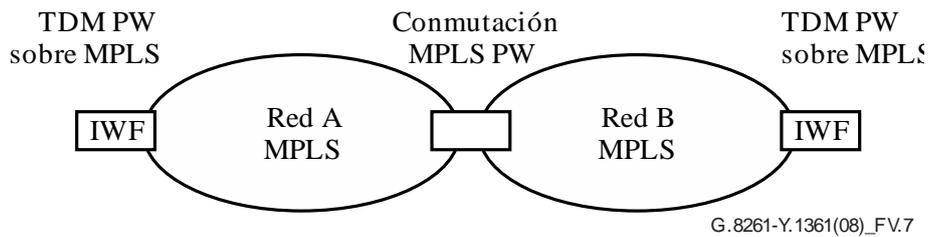


Figura V.7 – Cruce de distintas redes o dominios MPLS

NOTA 4 – Este tipo de escenario también puede ilustrar un cambio en la capa de transporte como se muestra en la Figura V.8, en la que TDM PW pasa de MPLS a IP. En este caso, la cabida útil de encapsulado de paquetes TDM no cambia; sólo cambia la capa PSN.

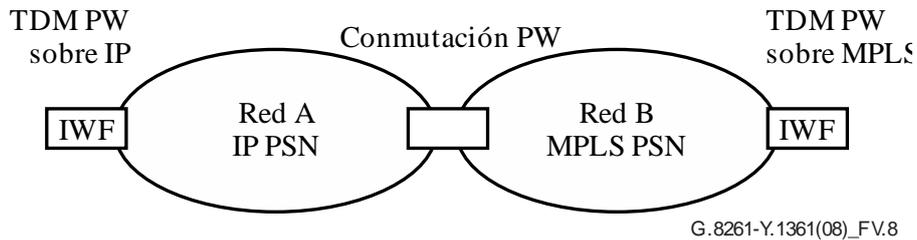


Figura V.8 – Intercambio de capas PSN

NOTA 5 – Es posible que haya que recuperar el tren TDM en un punto de interconexión entre dos dominios u operadores, ya sea porque el escenario anterior no es posible (diferente encapsulado TDM PW) o porque los operadores no estén de acuerdo sobre el método de interconexión (se puede tratar de la ubicación o gestión del nodo de conmutación, del encapsulado o del plano de control). Esto se muestra en la Figura V.9.

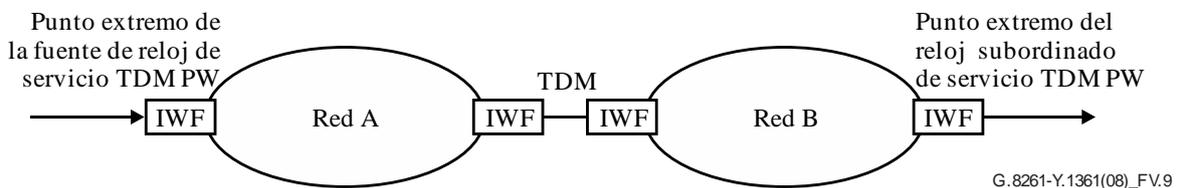


Figura V.9 – Cruce de redes de diferentes operadores sin función de conmutación PW

- 3) TDM IP PW que utiliza una red MPLS, y opcionalmente un servicio L3VPN (Figura V.10)

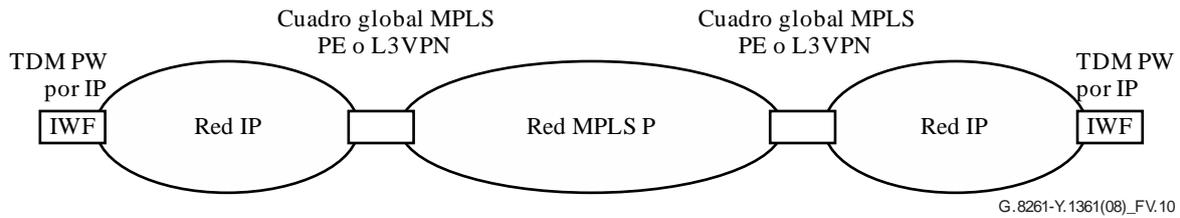


Figura V.10 –IP por red MPLS

- 4) TDM PW por Ethernet que utiliza la red MPLS para transmisión (Figura V.11)

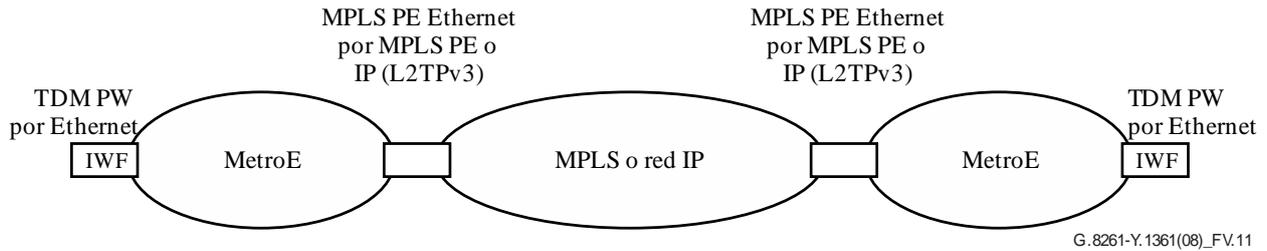


Figura V.11 – Ethernet por MPLS o red IP

- 5) TDM IP PW que utiliza el servicio PW de Ethernet por la red MPLS (Figura V.12).

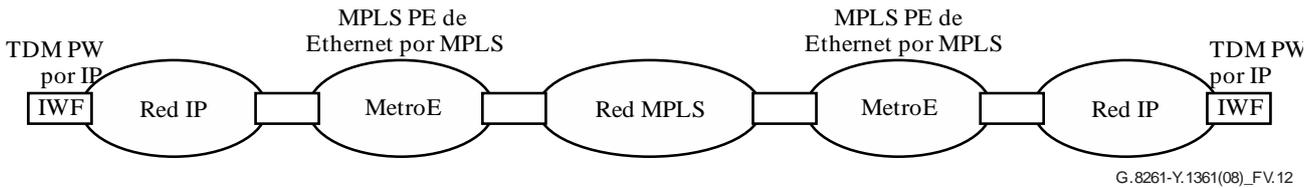


Figura V.12 – IP por Ethernet por la red MPLS

Entre los aspectos fundamentales de este tipo de redes compuestas se incluye que:

- los equipos de red tendrán características diferentes;
- la política de red (por ejemplo, QoS) puede ser diferente cuando se cruzan diferentes dominios;
- la arquitectura de temporización puede ser diferente.

Apéndice VI

Directrices para la medición para métodos basados en paquetes

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

Las directrices de este apéndice pretenden instruir sobre la adquisición de las características de calidad utilizadas para determinar los resultados referenciados.

Resulta importante considerar que, cuando se realizan comparaciones de la calidad de funcionamiento, las configuraciones de los sistemas que se están comparando deben ser lo más similares posible.

Los resultados de los casos de prueba que se incluyen en este apéndice no son una garantía de que el equipo se vaya a comportar como se espera en una situación de red compleja sometida a una gama de condiciones de carga complejas y cambiantes.

Aunque los casos de prueba de este apéndice son una directriz útil sobre las características de calidad de las técnicas de emulación de circuitos basados en Ethernet, se recomienda encarecidamente su evaluación en escenarios de red complejos que representen el perfil de despliegue.

VI.1 Puntos de referencia de la medición

En la Figura VI.1 (método de recuperación de reloj diferencial) y en la Figura VI.2 (método de recuperación de reloj adaptativo) se muestran los puntos de referencia de la medición. Las dos figuras de esta cláusula proporcionan dos de los escenarios más relevantes. En versiones futuras de la presente Recomendación se podrán identificar más escenarios.

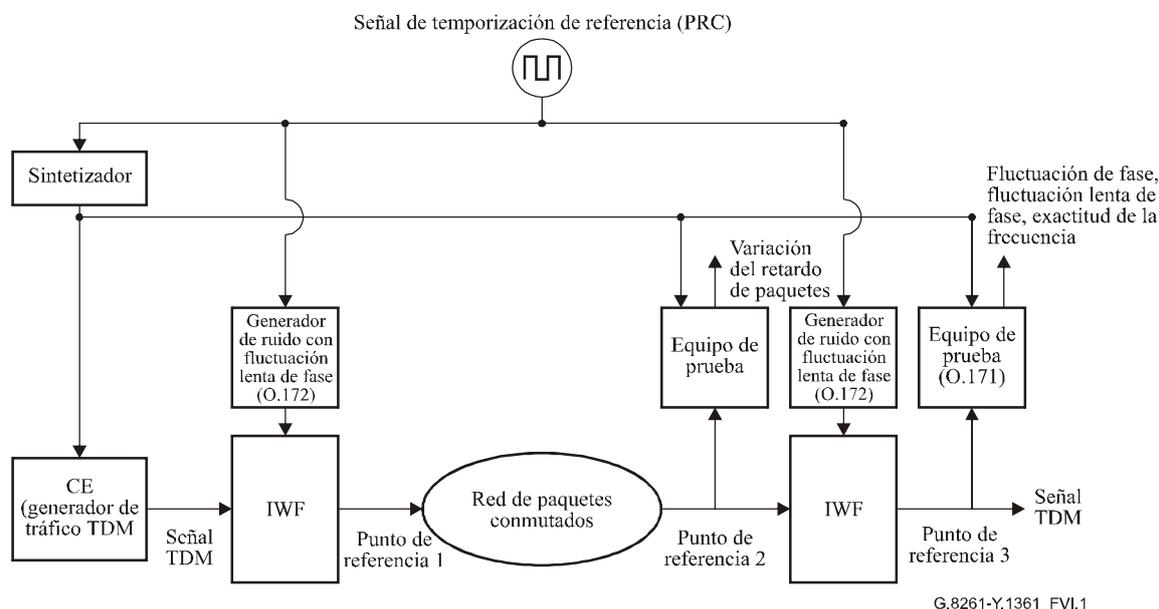
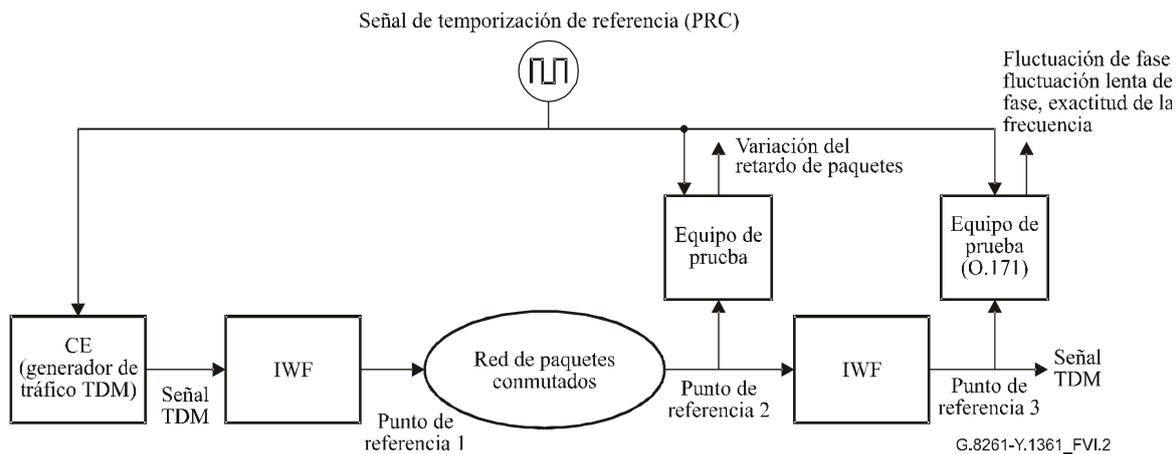


Figura VI.1 – Puntos de referencia de la medición en el método de recuperación de reloj diferencial



NOTA – La señal de temporización de referencia (PRC) se utiliza para representar el reloj de servicio TDM.

Figura VI.2 – Puntos de referencia de la medición en el método de recuperación de reloj adaptativo

NOTA 1 – El "generador de ruido con fluctuación lenta de fase" de la Figura VI.1 se inserta para simular el ruido generado por la red de sincronización (que se especifica en [UIT-T O.172]). La salida de la generación de ruido con fluctuación lenta de fase deberá ser conforme a la interfaz de sincronización, como se especifica en [UIT-T G.824] y [UIT-T G.823].

NOTA 2 – El sintetizador de la Figura VI.1 se necesita para cambiar la frecuencia de las señales TDM asíncronas (dentro de los límites de [UIT-T G.703]).

NOTA 3 – Este apéndice contiene una serie de pruebas con las que evaluar la calidad de la recuperación de reloj con diferentes tipos de topología de red, características de tráfico y degradaciones. No obstante, las pruebas que aquí se definen no son exhaustivas y no abarcan todas las posibles degradaciones que podrían ser provocadas por la red de paquetes. En el futuro se pueden definir otras pruebas, por ejemplo:

- recuperación del reloj en presencia de la agregación de enlaces, como en [IEEE 802.1ad];
- recuperación del reloj cuando se tiene en cuenta la calidad de servicio (QoS, quality of service);
- recuperación del reloj en presencia de control del flujo, por ejemplo mediante tramas de pausa de [b-IEEE 802.3x].

NOTA 4 – En el Apéndice II de [UIT-T G.823] se dan metodologías de medición de las señales asíncronas.

VI.2 Características del tráfico de entrada

Para poder tener en cuenta tipos de tráfico diferentes en la red, se han definido dos tipos de modelo de tráfico perturbador, como se describe en las cláusulas VI.2.1 y VI.2.2.

El modelo de tráfico de red 1 tiene por objeto modelar el tráfico en la red de acceso en donde la mayoría del tráfico es voz. El modelo de tráfico de red 2 tiene por objeto modelar el tráfico en las redes en donde la mayoría del tráfico está constituido por datos.

Hay que señalar que el tráfico CES se añade al tráfico perturbador.

NOTA 1 – Los detalles de cómo se inyecta el tráfico se proporcionarán cuando se realicen las pruebas. Los detalles deben cubrir aspectos tales como cómo se mezcla el tráfico, qué conmutadores están recibiendo el tráfico, la velocidad de paquetes para los flujos CBR, etc. Por ejemplo, se podría seguir el siguiente planteamiento detallado sobre cómo se mezcla el tráfico:

- los diferentes perfiles de tamaño de paquete aparecerán de forma aleatoria con una probabilidad de 0,8, 0,15 y 0,05 respectivamente. El proceso de generación aleatorio tendrá una distribución independiente idéntica (no correlada) basada en una secuencia binaria pseudoaleatoria (PRBS) con un periodo mínimo de 223-1 tramas.

Los paquetes de tamaño máximo aparecerán en ráfagas con una duración de entre 0,1 y 3 s. Para cada evento de ráfaga, se seleccionará aleatoriamente la longitud de la ráfaga, utilizando un generador aleatorio con distribución uniforme, independiente e idéntico, entre 0,1 s y 3 s.

NOTA 1A – Se han propuesto diferentes interpretaciones sobre cómo se generan las ráfagas de tráfico en los siguientes modelos de tráfico de red. El resultado de la prueba puede depender de la interpretación concreta que se haya adoptado.

NOTA 2 – El tráfico se puede inyectar en serie (en un puerto del conmutador Ethernet) o en paralelo (en múltiples puertos del conmutador Ethernet) y, generalmente, se esperan comportamientos diferentes. Sin embargo se han observado propiedades estadísticas similares de la variación del retardo de paquetes a la salida de la red de paquetes para los casos serie y paralelo, cuando las estadísticas de los paquetes con retardo mínimo no estaban afectadas de forma importante por las condiciones de carga. Algunos de los aspectos que pueden afectar a la estadística de los paquetes con retardo mínimo son:

- la estrategia de colas en los conmutadores;
- el número de conmutadores en la cadena;
- la carga estática frente a la no estática.

El tráfico insertado en la red con conmutación de paquetes en alguno de los casos de prueba (como los casos 2, 3, 13 y 14) puede dar lugar a una variación de frecuencia muy baja en la información de temporización transportada por los paquetes de temporización. En este caso, con el fin de atenuar, filtrar o suprimir estos efectos de frecuencia baja, los CES , PSC-A o PEC-S subordinados pueden requerir una capacidad de filtrado de frecuencias bajas.

VI.2.1 Modelo de tráfico de red 1

De acuerdo con 3GPP, el tráfico de acceso está constituido por flujo continuo (audio-vídeo), de conversación (voz), en modo interactivo (por ejemplo, http) y en modo operación de fondo (sms, correo electrónico). Se sabe que en una red inalámbrica, del 80% al 90% del tráfico es de conversación, durando la llamada media de uno a dos minutos. Para poder modelar este tráfico, el 80% de los paquetes deben ser paquetes a velocidad binaria constante de tamaño fijo pequeño y el 20% de los paquetes debe ser una combinación de paquetes de tamaño medio y máximo.

El perfil del tamaño de los paquetes debe ser como sigue:

- El 80% de la carga ha de ser de paquetes de tamaño mínimo (64 octetos).
- El 15% de la carga ha de ser de paquetes de tamaño máximo (1 518 octetos).
- El 5% de la carga ha de ser de paquetes de tamaño medio (576 octetos).

Los paquetes de tamaño máximo aparecerán en ráfagas con una duración de entre 0,1 y 3 s.

VI.2.2 Modelo de tráfico de red 2

Paquetes mayores, en comparación con los del modelo de tráfico de red 1, componen la red que maneja más tráfico de datos. Para poder modelar este tráfico, el 60% de los paquetes deben ser de tamaño máximo y el 40% de los paquetes debe ser una combinación de paquetes de tamaño mínimo y medio.

El perfil del tamaño de los paquetes debe ser como sigue:

- El 60% de la carga ha de ser de paquetes de tamaño máximo (1 518 octetos).
- El 30% de la carga ha de ser de paquetes de tamaño mínimo (64 octetos).
- El 10% de la carga ha de ser de paquetes de tamaño medio (576 octetos).

Los paquetes de tamaño máximo aparecerán en ráfagas con una duración entre 0,1 y 3 s.

NOTA – El modelo de tráfico 1 se basa en las características típicas del tráfico en redes de acceso inalámbrico basadas en las primeras generaciones de las tecnologías móviles (por ejemplo, GSM, WCDMA versiones 3GPP hasta Rel. 4). Sin embargo, existen casos en los que, con el fin de optimizar el uso de la anchura de banda durante las horas de mayor tráfico, los paquetes provenientes o salientes de las estaciones base con interfaces Ethernet se pueden agrupar en paquetes de tamaños mayores dando lugar a características de tráfico pertenecientes al modelo de tráfico 2. En este caso, las características de los modelos de tráfico pueden cambiar a lo largo del tiempo.

VI.3 Topologías de prueba para métodos adaptativos

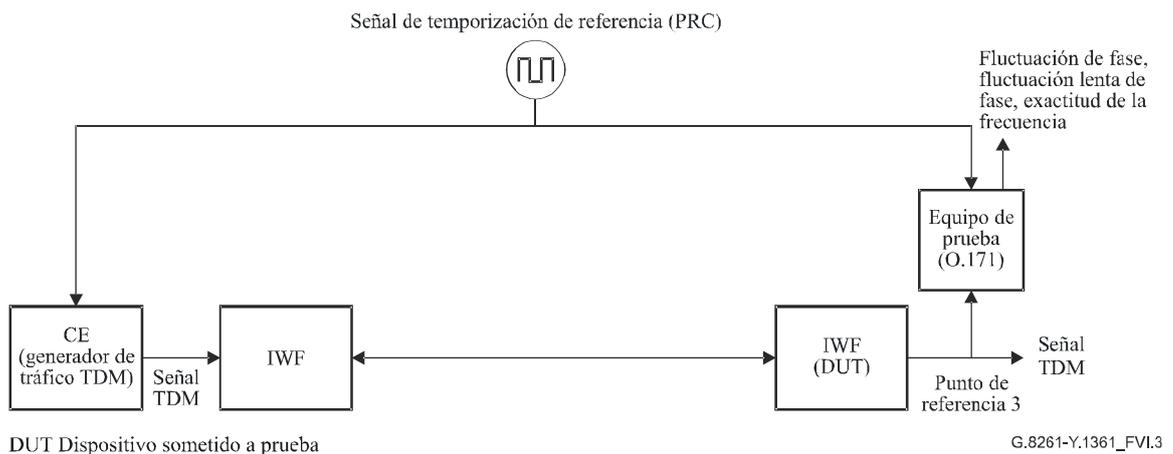
Las topologías de prueba que aquí se describen incluyen procedimientos con los que verificar los métodos de sincronización aplicables a la presente Recomendación.

Estas pruebas se han definido en un entorno controlado (es decir, no sobre el terreno).

NOTA – Los casos de prueba presentados en esta cláusula abordan la prueba del dominio CES. La prueba del dominio PNT cuando se utilizan métodos de recuperación de reloj adaptativos se pueden realizar utilizando el mismo planteamiento. Para este fin podría necesitarse alguna adaptación de los casos de prueba fijados. Este asunto queda en estudio.

VI.3.1 Prueba de línea de base

En la Figura VI.3 se muestra la topología de prueba de línea de base.



NOTA – La señal de temporización de referencia (PRC) se utiliza para representar el reloj de servicio TDM.

Figura VI.3 – Topología de prueba de línea de base

La prueba de línea de base deberá llevarse a cabo en las condiciones siguientes:

- sin carga de paquetes;
- mediciones de prueba:
 - medir TIE, MTIE y MRTIE (que se describen en [UIT-T G.823] y [UIT-T G.824]);
 - medir la exactitud de la frecuencia (el valor del tiempo de integración de medición de la exactitud de la frecuencia depende del equipo de extremo de que se trate);
 - la calidad de funcionamiento deberá cumplir los límites de red de los casos pertinentes definidos en la cláusula 9.

VI.3.2 Prueba de la calidad de funcionamiento

La prueba de la calidad de funcionamiento es equivalente a la del modelo A del Apéndice V, y se hace con 10 conmutadores Ethernet con capacidad de gigabits o bien con 9 de esos conmutadores y un conmutador Ethernet rápido. En la Figura VI.4 se muestra la topología de prueba.

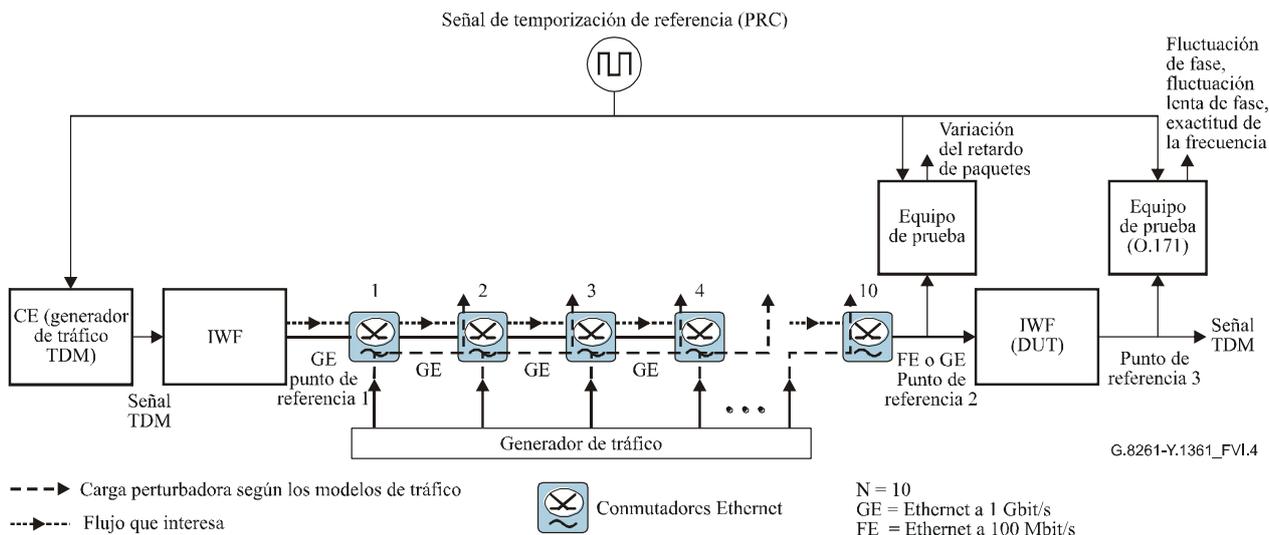


Figura VI.4 – Topología de prueba de la calidad de funcionamiento

Se precisa una topología de prueba específica como la que se muestra en la Figura VI.5 para efectuar el caso de prueba de concentraciones de tráfico que llevan a situaciones de cuello de botella. Este tipo de configuración genera el efecto batido (véanse las Figuras 20 y 21).

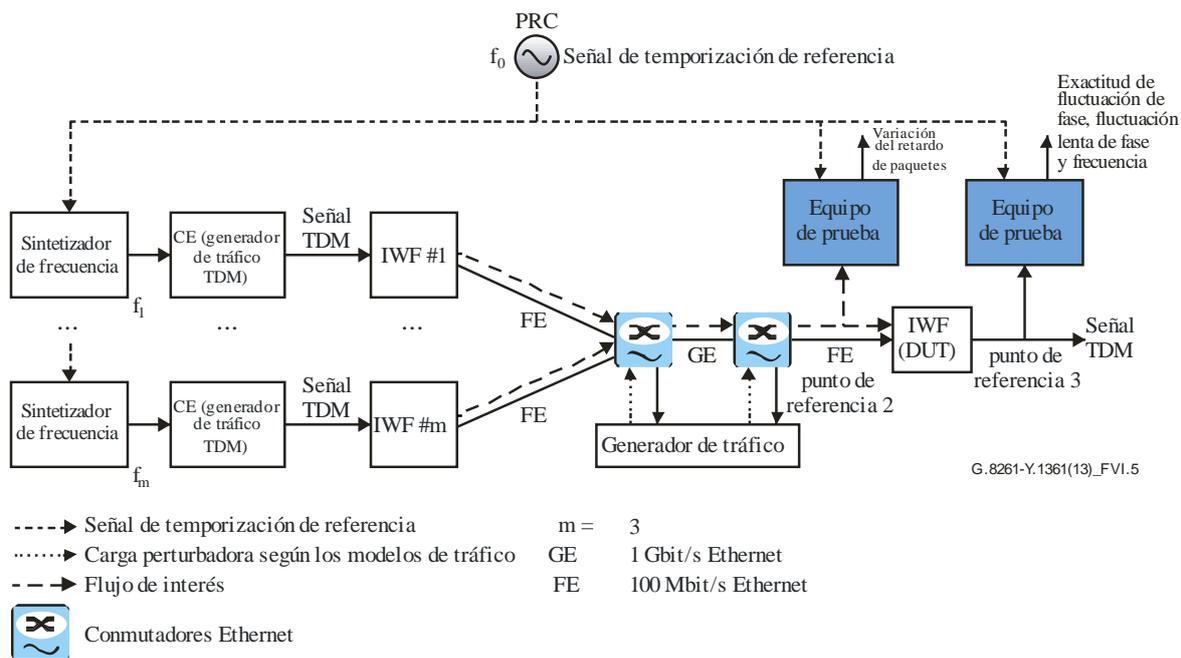


Figura VI.5 – Topología de prueba de la calidad de funcionamiento para concentraciones de tráfico

El dispositivo sometido a prueba (DUT) debe ser verificado a efectos de estabilidad del funcionamiento cuando se produzcan eventos perturbadores que puedan hacer que la sincronización falle o quede fuera de los límites de la especificación. Los casos de prueba descritos en esta cláusula se llevan a cabo para probar el DUT en condiciones de variación de carga, cambios de red y pérdida de paquetes.

Para cada uno de los casos de prueba descritos en esta cláusula, deberán efectuarse las mediciones siguientes:

- medir TIE, MTIE y MRTIE (que se describen en [UIT-T G.823] y [UIT-T G.824]);
- medir la exactitud de la frecuencia (el valor del tiempo de integración de medición de la exactitud de la frecuencia depende del equipo de extremo de que se trate);
- medir la variación del retardo de los paquetes;
- la calidad de funcionamiento deberá cumplir los límites de red de los casos pertinentes definidos en la cláusula 9.

NOTA 1 – La configuración de prueba descrita en la Figura VI.4 proporciona el punto de comienzo hacia un escenario de prueba común.

No obstante, para conseguir un entorno de prueba cuya implementación sea más sencilla y eliminar cualquier riesgo de llegar a resultados diferentes cuando se utilicen conmutadores Ethernet de tecnologías diferentes, se está examinando una propuesta para sustituir la especificación definida en la Figura VI.4 por una nueva configuración de prueba en la que la variación del retardo podría ser creada por un equipo de prueba, en sustitución de los conmutadores Ethernet y el generador de tráfico, con un perfil de variación del retardo a modo de entrada.

El perfil de variación del retardo podría expresarse en términos de "vectores de prueba" (secuencia de prueba) con una duración de 15 minutos, 60 minutos y 24 horas. La variación del retardo deberá expresarse con la resolución de temporización apropiada.

Las secuencias de prueba se basarían en los resultados de las pruebas efectuadas utilizando la topología de pruebas descrita en la Figura VI.4.

NOTA 2 – Además de los casos de prueba descritos en esta cláusula se pueden considerar casos de prueba determinísticos. Esto queda en estudio.

VI.3.2.1 Caso de prueba 1

El caso de prueba 1 modela la carga de paquetes "estática". Este caso ha de atenerse a las condiciones de red siguientes:

- carga de perturbación de red del 80% durante una hora. Las mediciones de prueba deben iniciarse después de que se estabilice la recuperación del reloj. El Apéndice II proporciona directrices sobre el periodo de estabilización. El tráfico de perturbación de fondo para cargar la red debe utilizar el modelo de tráfico de red 2 definido en la cláusula VI.2.2.

VI.3.2.2 Caso de prueba 2

El caso de prueba 2 modela grandes cambios, repentinos y persistentes, en la carga de la red. Demuestra la estabilidad ante grandes cambios repentinos en las condiciones de la red y la calidad de funcionamiento de la fluctuación lenta de fase en presencia de una variación del retardo de paquetes (PDV, *packet delay variation*) de frecuencia baja.

El caso de prueba 2 ha de atenerse a las condiciones de red siguientes:

- los paquetes para cargar la red han de utilizar el modelo de tráfico de red 1 definido en la cláusula VI.2.1;
- permitir un periodo de estabilización de acuerdo con el Apéndice II para que el proceso de recuperación del reloj se estabilice antes de efectuar las mediciones;
- comenzar con una carga de perturbación de red del 80% durante una hora, bajar al 20% durante una hora, aumentar de nuevo al 80% durante una hora, bajar otra vez al 20% durante una hora, subir al 80% durante una hora, bajar al 20% durante una hora (véase la Figura VI.6);

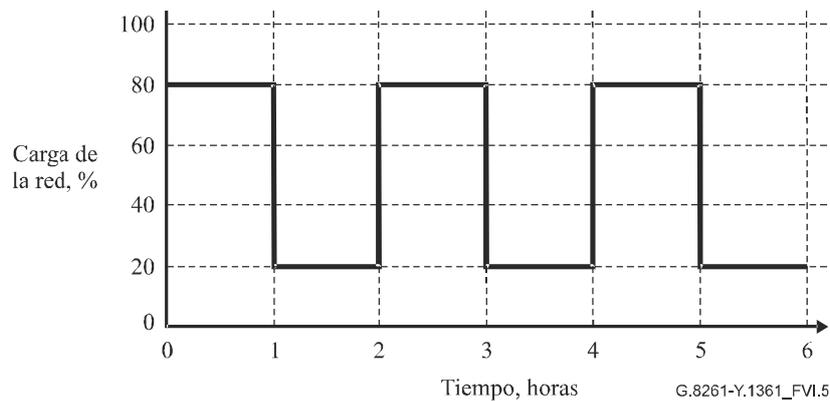


Figura VI.6 – Modulación de la carga de perturbación de la red repentina

- repetir la prueba utilizando el modelo de tráfico de red 2 definido en la cláusula VI.2.2 para cargar la red.

VI.3.2.3 Caso de prueba 3

El caso de prueba 3 modela un cambio lento en la carga de la red durante un intervalo de tiempo sumamente largo. Demuestra la estabilidad ante cambios muy lentos en las condiciones de la red y la calidad de funcionamiento de la fluctuación lenta de fase en presencia de una PDV de frecuencia extremadamente baja.

El caso de prueba 3 ha de atenerse a las condiciones de red siguientes:

- los paquetes para cargar la red han de utilizar el modelo de tráfico de red 1 definido en la cláusula VI.2.1;
- permitir un periodo de estabilización de acuerdo con el Apéndice II para que el proceso de recuperación del reloj se estabilice antes de efectuar las mediciones;
- variar suavemente la carga de perturbación de la red del 20% al 80% y viceversa a lo largo de un periodo de 24 horas (véase la Figura VI.7);

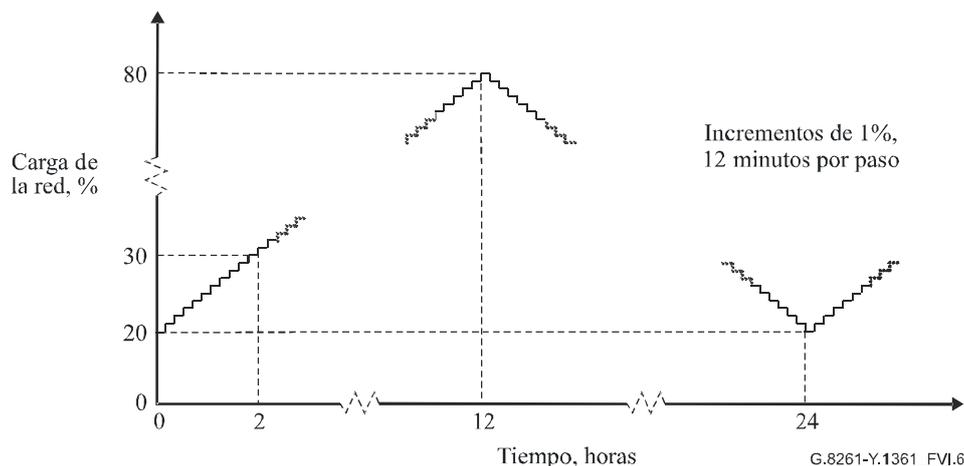


Figura VI.7 – Modulación de la carga de la red lenta

- repetir la prueba utilizando el modelo de tráfico de red 2 definido en la cláusula VI.2.2 para cargar la red.

VI.3.2.4 Caso de prueba 4

El caso de prueba 4 modela interrupciones de red temporales y su restablecimiento durante periodos de tiempo variables. Demuestra la capacidad que tiene la red de sobrevivir a las interrupciones y su

recuperación con el restablecimiento. Hay que tener en cuenta que el MTIE durante una interrupción de 1 000 s vendrá determinado en buena medida por la calidad del oscilador local, y no deberá tomarse como una indicación de la calidad del proceso de recuperación del reloj.

El caso de prueba 4 ha de atenerse a las condiciones de red siguientes:

- los paquetes para cargar la red han de utilizar el modelo de tráfico de red 1 definido en la cláusula VI.2.1;
- comenzar con una carga de perturbación de red del 40%. Tras un periodo de estabilización de acuerdo con el Apéndice II, eliminar la conexión de red durante 10 s y a continuación restablecerla. Permitir un periodo de estabilización de acuerdo con el Apéndice II para que el proceso de recuperación del reloj se estabilice. Repetir con interrupciones de la red de 100 s;
- repetir la prueba utilizando el modelo de tráfico de red 2 definido en la cláusula VI.2.2 para cargar la red.

VI.3.2.5 Caso de prueba 5

El caso de prueba 5 modela una congestión de red temporal y su restablecimiento durante periodos de tiempo variables. Demuestra la capacidad que tiene la red de sobrevivir a una congestión temporal en la red de paquetes.

El caso de prueba 5 ha de atenerse a las condiciones de red siguientes:

- los paquetes para cargar la red han de utilizar el modelo de tráfico de red 1 definido en la cláusula VI.2.1;
- comenzar con una carga de perturbación de red del 40%. Tras un periodo de estabilización de acuerdo con el Apéndice II, aumentar la carga de perturbación de la red hasta el 100% (incluyendo retardos graves y pérdida de paquetes) durante 10 s y a continuación restablecer. Permitir un periodo de estabilización de acuerdo con el Apéndice II para que el proceso de recuperación del reloj se estabilice. Repetir con un periodo de congestión de 100 s;
- repetir la prueba utilizando el modelo de tráfico de red 2 definido en la cláusula VI.2.2 para cargar la red.

VI.3.2.6 Caso de prueba 6

El caso de prueba 6 modela los cambios de encaminamiento producidos por fallos en la red.

El caso de prueba 6 ha de atenerse a las condiciones de red siguientes:

- cambiar el número de conmutadores entre los DUT, provocando un cambio en escalón en el retardo de la red de paquetes.
 - Los paquetes para cargar la red deben utilizar el modelo de tráfico de red 1 definido en la cláusula VI.2.1.
 - Comenzar con una carga de perturbación de red del 40%. Tras un periodo de estabilización de acuerdo con el Apéndice II, reencaminar el tráfico para eludir un conmutador en el trayecto del tráfico. Esto se debe realizar actualizando la configuración de prueba de la Figura VI.4, añadiendo un cable desde el conmutador en la posición "n" al conmutador en la posición "n+2", y utilizando una bobina de fibra o añadiendo un dispositivo de degradación capaz de simular diferentes longitudes de cable (como ejemplos típicos se pueden simular 10 μ s y 200 μ s). La configuración se debe disponer de forma que el flujo de tráfico sometido a prueba se encamine directamente desde el conmutador en la posición "n" a través del nuevo enlace hasta el conmutador en la posición "n+2".

- Después de desconectar el cable entre el conmutador "n" y el conmutador "n+2" (de forma que el tráfico sometido a prueba se encamine entonces desde el conmutador en la posición "n" al conmutador en la posición "n+1"), permitir un periodo de estabilización de acuerdo con el Apéndice II para que el proceso de recuperación del reloj se estabilice, y volver a conectar el enlace que se desconectó a fin de restablecer a continuación el tráfico en el trayecto original.
- Comenzar con una carga de perturbación de red del 40%. Tras un periodo de estabilización de acuerdo con el Apéndice II, reencaminar la red para eludir cinco conmutadores en el trayecto del tráfico. Esto se debe realizar actualizando la configuración de prueba de la Figura VI.4 añadiendo un cable desde el conmutador en la posición "n" al conmutador en la posición "n+4", y utilizando una bobina de fibra o añadiendo un dispositivo de degradación capaz de simular diferentes longitudes de cable (como ejemplos típicos se pueden simular 10 μ s y 200 μ s). La configuración se debe disponer de forma que el flujo de tráfico sometido a prueba se encamine directamente desde el conmutador en la posición "n" a través del nuevo enlace hasta el conmutador en la posición "n+4".
- Después de desconectar el cable entre el conmutador "n" y el conmutador "n+4" (de forma que el tráfico sometido a prueba se encamine entonces desde el conmutador en la posición "n" al conmutador en la posición "n+1"), permitir un periodo de estabilización de acuerdo con el Apéndice II para que el proceso de recuperación del reloj se estabilice, y volver a conectar el enlace que se desconectó a fin de restablecer a continuación el tráfico en el trayecto original.
- repetir la prueba utilizando el modelo de tráfico de red 2 definido en la cláusula VI.2.2 para cargar la red.

VI.3.2.7 Caso de prueba 7

El caso de prueba 7 modela el efecto de batido debido a la concentración de tráfico con fuentes TDM de diferente frecuencia. En particular, este caso de prueba se refiere a los flujos CES TDM asociados con trenes de bits a 2 048 Mbit/s o 1 544 Mbit/s. El montaje de la prueba se muestra en la Figura VI.5 y ha de atenerse a las siguientes condiciones de red:

- carga de perturbación de red del 60% durante todo el periodo de prueba. La medición se debe iniciar después de que la recuperación del reloj esté en condición estable y durará 24 horas. El Apéndice II facilita directrices sobre el periodo de estabilización. El tráfico de perturbación de fondo debe utilizar el modelo de tráfico de red 2 definido en la cláusula VI.2.2;
- aplicar las siguientes frecuencias con los sintetizadores de frecuencia para probar el caso de servicios asíncronos:
 - $f_1 = f_0$
 - $f_2 = f_0 + 1 \text{ ppm}$
 - $f_3 = f_0 - 50 \text{ ppm}$ (señales a 2.048 kbit/s) o $f_0 - 32 \text{ ppm}$ (señales a 1.544 kbit/s);
- a la salida de la IWF de la derecha (punto de referencia 3), seleccionar la señal de salida TDM enviada por IWF #0 para la medición de los límites de fluctuación de fase y de fluctuación lenta de fase pertinentes y la señal de salida TDM enviada por IWF #3 para la medición del reloj de servicio asíncrono;
- realizar de nuevo la prueba con las frecuencias siguientes para comprobar el caso de relojes en régimen libre mezclados con servicios asíncronos:
 - $f_1 = f_0$
 - $f_2 = f_0 + 16 \text{ ppb}$
 - $f_3 = f_0 - 50 \text{ ppm}$ (señales a 2.048 kbit/s) o $f_0 - 32 \text{ ppm}$ (señales a 1.544 kbit/s).

NOTA 1 – El tamaño de los paquetes debe ser el mismo para todos los trenes de paquetes CES.

NOTA 2 – También se puede usar el mismo escenario de pruebas para probar diferentes trenes de bits TDM del CES (por ejemplo, DS3 CES).

NOTA 3 – Quedan en estudio otros casos basados en este caso de prueba (por ejemplo, pruebas no estáticas en las que la variación de frecuencia cambia a lo largo del tiempo).

VI.3.2.8 Caso de prueba 8

El caso de prueba 8 modela un mecanismo dependiente de la topología en redes de paquetes que pueden retardar paquetes más de lo que se podría esperar únicamente a partir de consideraciones sobre el volumen de tráfico (véase la cláusula 10.1.2.6).

En la Figura VI.4 de la cláusula VI.3.2, se muestra la red de prueba con el cambio siguiente: sólo existe una fuente de "perturbación de tráfico", que se inyecta en el conmutador 1 y atraviesa toda la red existente en el conmutador 10 en un puerto diferente al tráfico sensible al tiempo.

- **Parte A del caso de prueba**

Este caso de prueba es similar al caso de prueba 3 (cláusula VI.3.2.3). Prueba el incremento y la disminución gradual de la carga de tráfico en presencia del efecto de bloqueo como se describe en la cláusula 10.1.2.6. No se considera necesario alcanzar la misma frecuencia extremadamente baja y, por tanto, no es preciso realizar pruebas tan largas como en el caso de prueba 3 con el fin de demostrar la resistencia a este efecto en particular.

Utilizando el modelo de tráfico de red 2, se empieza con una carga de tráfico de perturbación de tráfico de 0%. Esperar durante un periodo inicial de estabilización de conformidad con el Apéndice II. Aumentar entonces la carga de tráfico en incrementos del 1% cada minuto hasta una carga del 50%. Reducir de nuevo la carga en incrementos del 1% hasta el 0%.

- **Parte B del caso de prueba**

Este caso de prueba es similar al caso de prueba 2 (cláusula VI.3.2.2). Prueba los aumentos y las disminuciones bruscas en la carga de tráfico en presencia del efecto de bloqueo como se describe en la cláusula 10.1.2.6.

Utilizando el modelo de tráfico de red 2, se empieza con una carga de perturbación de tráfico del 0%. Después de un periodo de estabilización inicial, de conformidad con el Apéndice II, aumentar la carga de tráfico hasta el 50% durante una hora. Repetirlo tres veces.

VI.4 Topologías de prueba para métodos diferenciales

La topología de pruebas se muestra en la Figura VI.8.

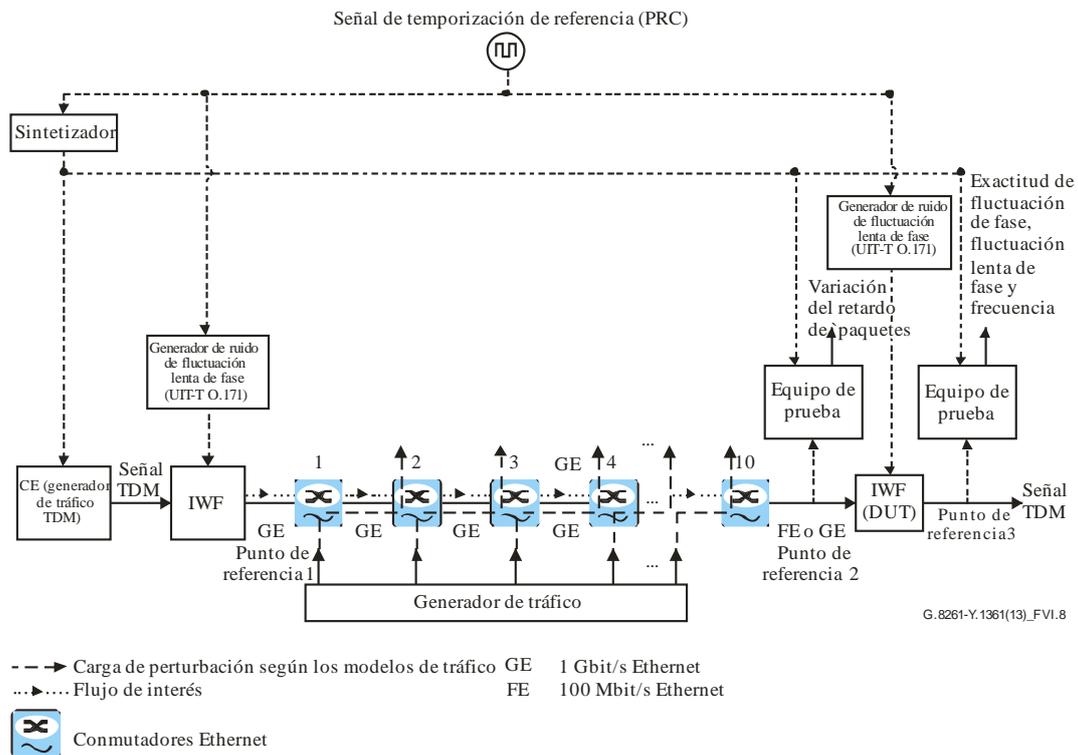


Figura VI.8 – Topología de prueba de la calidad de funcionamiento para el método de recuperación de reloj diferencial

NOTA – El desplazamiento de frecuencia a del PRC introducido por el sintetizador debe ser de + (o –) 50 ppm (2 048 kbit/s) y de + (o –) 32 ppm (1 544 kbit/s) para todos los casos de prueba.

VI.4.1 Caso de prueba 9

El caso de prueba 9 modela las características de calidad del método de recuperación de reloj diferencial con una carga de paquetes "estática". Este caso ha de atenerse a las condiciones de red siguientes:

- carga de perturbación de red del 80% durante una hora. Las mediciones de prueba se deben iniciar cuando la recuperación del reloj esté estabilizada. El Apéndice II facilita directrices sobre el periodo de estabilización. El tráfico de perturbación de fondo debe utilizar el modelo de tráfico de red 2 definido en VI.2.2.

VI.4.2 Caso de prueba 10

El caso de prueba 10 modela las características del método de recuperación de reloj diferencial con ruido añadido a la señal de temporización de referencia en la IWF. Se utiliza para simular el ruido generado por la red de sincronización (que se especifica en [UIT-T O.172]).

El caso de prueba 10 ha de atenerse a las condiciones de red siguientes:

- inyectar el ruido de fluctuación lenta de fase de acuerdo con el Anexo C de [UIT-T O.172] para simular el ruido de fluctuación lenta de fase generado por la red de sincronización. Los valores reales para el ruido de fluctuación lenta de fase dependen de la aplicación (por ejemplo, E1, DS1). Quedan en estudio las máscaras de ruido de fluctuación lenta de fase aplicables;
- carga de perturbación de red del 80% durante una hora suponiendo que la recuperación de reloj está estabilizada. Permitir un periodo de estabilización de acuerdo con el Apéndice II para que el proceso de recuperación del reloj se establezca antes de efectuar las mediciones. Los paquetes para cargar la red han de utilizar el modelo de tráfico de red 2 definido en la cláusula VI.2.2.

VI.4.3 Caso de prueba 11

El caso de prueba 11 modela la calidad de funcionamiento del método de recuperación de reloj diferencial con una congestión de red temporal y su restablecimiento durante periodos de tiempo variables. Demuestra la capacidad que tiene la red de sobrevivir a una congestión temporal en la red de paquetes.

El caso de prueba 11 ha de atenerse a las condiciones de red siguientes:

- los paquetes para cargar la red han de utilizar el modelo de tráfico de red 1 definido en la cláusula VI.2.1;
- comenzar con una carga de perturbación de red del 40%. Tras un periodo de estabilización de acuerdo con el Apéndice II, aumentar la carga de perturbación de la red hasta el 100% (incluyendo retardos graves y pérdida de paquetes) durante 10 s y a continuación restablecer. Permitir un periodo de estabilización de acuerdo con el Apéndice II para que el proceso de recuperación del reloj se estabilice. Repetir con un periodo de congestión de 100 s.

NOTA – Para el método diferencial, también se han identificado como relevantes los siguientes casos de prueba: régimen libre (pérdida de la señal de temporización de referencia); diferentes casos de QoS. Estos casos quedan en estudio.

VI.5 Pruebas para protocolos bidireccionales

Las topologías de prueba que aquí se describen incluyen procedimientos con los que verificar los métodos de sincronización bidireccionales (por ejemplo, protocolos de distribución de tiempo) aplicables a la presente Recomendación.

Estas pruebas se han definido en un entorno controlado (es decir, no sobre el terreno).

VI.5.1 Prueba de referencia

En la Figura VI.9 se muestra la topología de prueba de referencia.

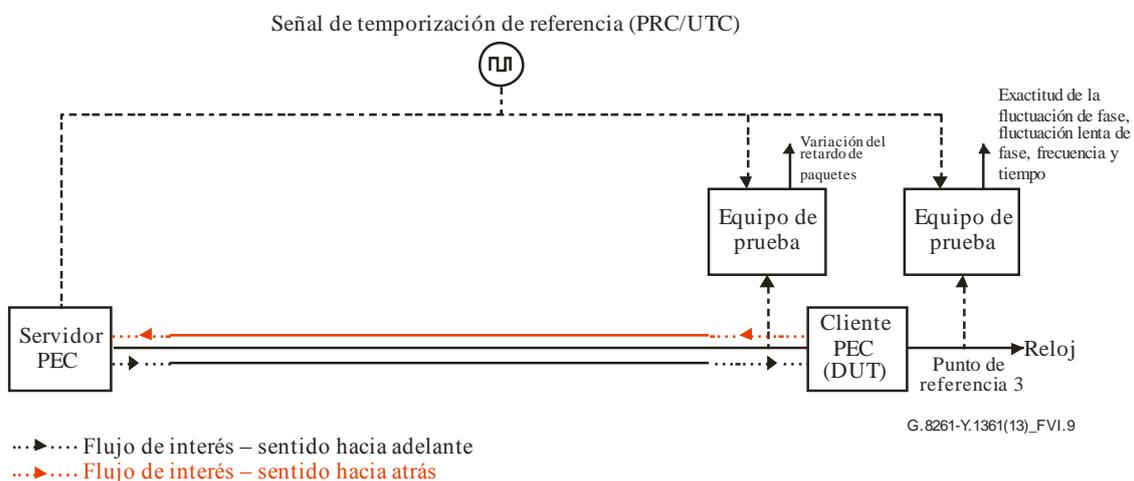


Figura VI.9 – Topología de prueba de referencia bidireccional

La prueba de referencia ha de atenerse a las condiciones siguientes:

- sin carga de paquetes;
- mediciones de prueba:
 - medir TIE, MTIE y MRTIE (que se describe en [UIT-T G.823] y [UIT-T G.824]);
 - medir la exactitud de la frecuencia (el valor del tiempo de integración de medición de la exactitud de la frecuencia depende del equipo de extremo de que se trate);

- medir la exactitud de la TOD pico a pico;
- la calidad de funcionamiento deberá cumplir los límites de red de los casos pertinentes definidos en la cláusula 9.

VI.5.2 Prueba de la calidad de funcionamiento

La prueba de la calidad de funcionamiento es equivalente a la del modelo A del Apéndice V que se realiza con 10 conmutadores GE o bien con 9 conmutadores GE y un conmutador FE. En la Figura VI.10 se muestra la topología de prueba.

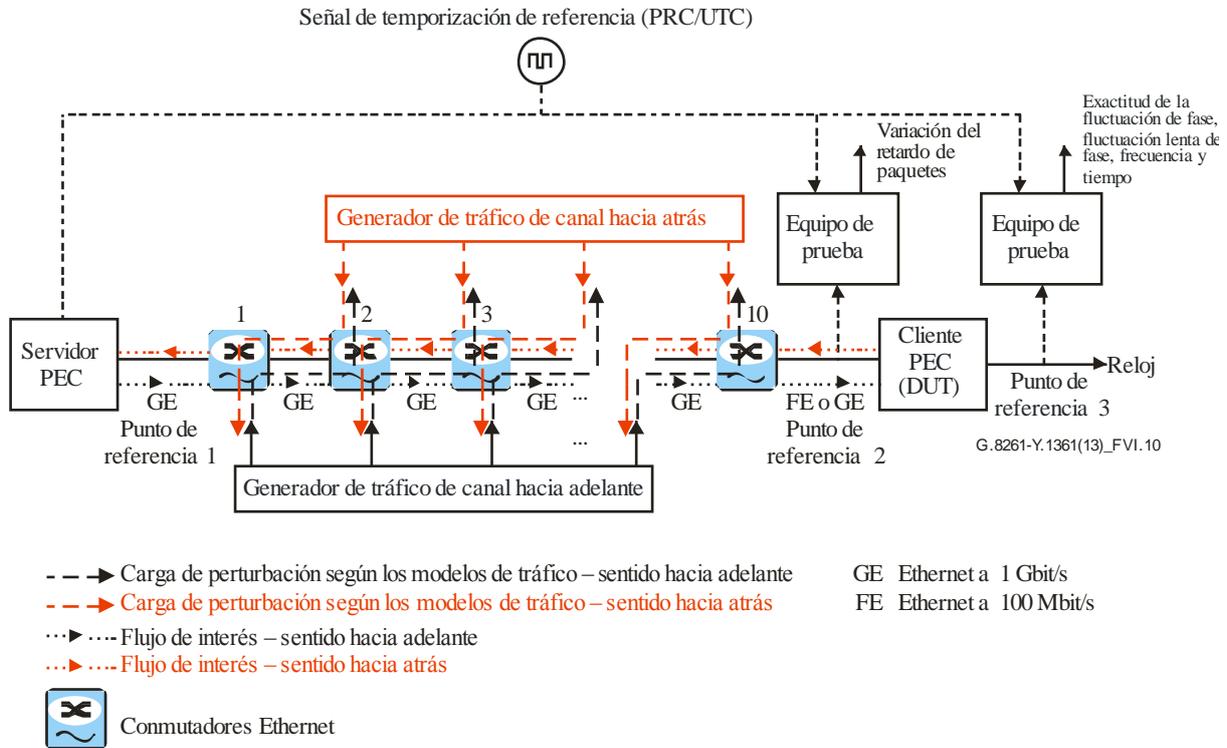


Figura VI.10 – Prueba de la calidad de funcionamiento para protocolos bidireccionales

El dispositivo sometido a prueba (DUT) debe ser verificado a efectos de estabilidad del funcionamiento cuando se produzcan eventos perturbadores que puedan hacer que la sincronización falle o quede fuera de los límites de la especificación. Los casos de prueba de esta cláusula se llevan a cabo para probar el DUT en condiciones de variación de carga, cambios de red y pérdida de paquetes.

Para cada uno de los casos de prueba descritos en esta cláusula, deberán efectuarse las mediciones siguientes:

- medir TIE, MTIE y MRTIE (que se describen en [UIT-T G.823] y [UIT-T G.824]);
- medir la exactitud de la frecuencia (el valor del tiempo de integración de medición de la exactitud de la frecuencia depende del equipo de extremo de que se trate);
- medir la variación del retardo de los paquetes;
- medir la exactitud de la TOD pico a pico;
- la calidad de funcionamiento deberá cumplir los límites de red de los casos pertinentes definidos en la cláusula 9.

NOTA 1 – La configuración de prueba descrita en la Figura VI.10 proporciona el punto de comienzo hacia un escenario de prueba común.

No obstante, para conseguir un entorno de prueba cuya implementación sea más sencilla y eliminar cualquier riesgo de llegar a resultados diferentes cuando se utilicen conmutadores Ethernet de tecnologías diferentes, se está examinando la propuesta de sustituir la especificación definida en la Figura VI.10 por una nueva configuración de prueba en la que la variación del retardo podría ser creada por un equipo de prueba, en sustitución de los conmutadores Ethernet y el generador de tráfico, con un perfil de variación del retardo a modo de entrada.

El perfil de variación del retardo podría expresarse en términos de "vectores de prueba" (secuencia de prueba) con una duración de 15 minutos, 60 minutos y 24 horas. La variación del retardo deberá expresarse con la resolución de temporización apropiada.

Las secuencias de prueba se basarían en los resultados de las pruebas efectuadas utilizando la topología de pruebas descrita en la Figura VI.10.

NOTA 2 – Además de los casos de prueba descritos en esta cláusula también se pueden considerar casos de prueba determinísticos. Este asunto queda en estudio.

VI.5.2.1 Características del tráfico de entrada

En este caso se utilizarán los mismos modelos de tráfico 1 y 2 definidos en las cláusulas VI.2.1 y VI.2.2 para los casos de prueba bidireccionales.

NOTA – Queda en estudio la definición de las condiciones concretas para comprobar asimetrías. Una configuración de prueba sencilla podría también considerar el retardo constante en un sentido.

VI.5.2.2 Caso de prueba 12

El caso de prueba 12 modela la carga de paquetes "estática". Este caso ha de atenerse a las condiciones de red siguientes:

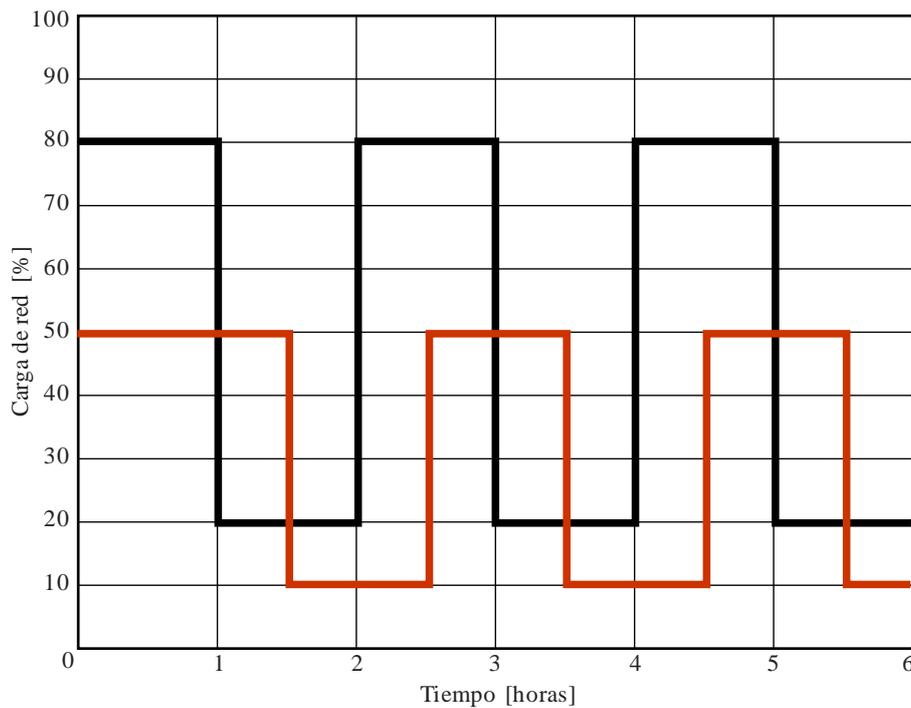
- carga de perturbación de red del 80% en el sentido hacia adelante (servidor a cliente) y del 20% en el sentido contrario (cliente a servidor) durante una hora. Las mediciones de prueba se iniciarán cuando la recuperación del reloj esté en condición estable. El Apéndice II ofrece directrices sobre el periodo de estabilización. El tráfico de perturbación de fondo para cargar la red debe utilizar el modelo de tráfico de red 2 definido en la cláusula VI.2.2.

VI.5.2.3 Caso de prueba 13

El caso de prueba 13 modela grandes cambios, repentinos y persistentes, en la carga de la red. Demuestra la estabilidad ante grandes cambios repentinos en las condiciones de la red y la calidad de funcionamiento de la fluctuación lenta de fase en presencia de una variación del retardo de paquetes (PDV) de frecuencia baja.

El caso de prueba 13 ha de atenerse a las condiciones de red siguientes:

- los paquetes para cargar la red han de utilizar el modelo de tráfico de red 1 definido en la cláusula VI.2.1;
- permitir un periodo de estabilización de acuerdo con el Apéndice II para que el proceso de recuperación del reloj se estabilice antes de efectuar las mediciones;
- en el sentido hacia adelante: comenzar con una carga de perturbación de red del 80% durante una hora, bajar al 20% durante una hora, aumentar de nuevo al 80% durante una hora, bajar otra vez al 20% durante una hora, subir de nuevo al 80% durante una hora, volver a bajar al 20% durante una hora. Al mismo tiempo, en el sentido contrario: comenzar con una carga de perturbación de red del 50% durante hora y media, bajar al 10% durante una hora, aumentar de nuevo al 50% durante una hora, bajar otra vez al 10% durante una hora, subir al 50% durante una hora, bajar al 10% durante media hora (véase la Figura VI.11);



G. 8261-Y.1361(08) FVI.11

Figura VI.11 – Modulación repentina de la carga de perturbación de red en ambos sentidos

- repetir la prueba utilizando el modelo de tráfico de red 2 definido en VI.2.2 para cargar la red.

NOTA – Los generadores de tráfico en esta configuración de prueba son independientes, por ello, la forma del tráfico que se muestra en la Figura VI.11 puede variar a lo largo del tiempo.

VI.5.2.4 Caso de prueba 14

El caso de prueba 14 modela un cambio lento en la carga de la red durante un intervalo de tiempo sumamente largo. Demuestra la estabilidad ante cambios muy lentos en las condiciones de la red y la calidad de funcionamiento de la fluctuación lenta de fase en presencia de una PDV de frecuencia extremadamente baja.

El caso de prueba 14 ha de atenerse a las condiciones de red siguientes:

- los paquetes para cargar la red han de utilizar el modelo de tráfico de red 1 definido en la cláusula VI.2.1;
- permitir un periodo de estabilización de acuerdo con el Apéndice II para que el proceso de recuperación del reloj se estabilice antes de efectuar las mediciones;
- en el sentido **hacia adelante**: variar suavemente la carga de perturbación de la red del 20% al 80% y viceversa a lo largo de un periodo de 24 horas. Al mismo tiempo, en el sentido contrario: variar suavemente la carga de perturbación de la red del 10% al 55% y viceversa a lo largo de un periodo de 24 horas (véase la Figura VI.12);

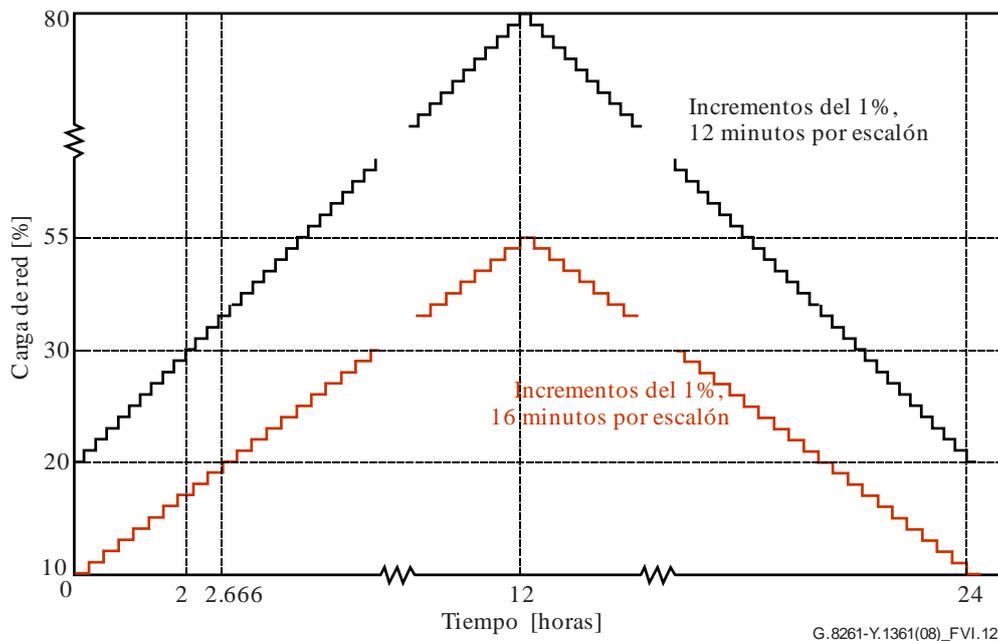


Figura VI.12 – Modulación lenta de la carga de la red en ambos sentidos

- repetir la prueba utilizando el modelo de tráfico de red 2 definido en VI.2.2 para cargar la red.

VI.5.2.5 Caso de prueba 15

El caso de prueba 15 modela interrupciones de red temporales y su restablecimiento durante periodos de tiempo variables. Demuestra la capacidad que tiene la red de sobrevivir a las interrupciones y su recuperación con el restablecimiento. Hay que tener en cuenta que el MTIE durante una interrupción de 1000 s vendrá determinado en buena medida por la calidad del oscilador local, y no deberá tomarse como una indicación de la calidad del proceso de recuperación del reloj.

El caso de prueba 15 ha de atenerse a las condiciones de red siguientes:

- los paquetes para cargar la red han de utilizar el modelo de tráfico de red 1 definido en la cláusula VI.2.1;
- comenzar con una carga de perturbación de red del 40% en el sentido hacia adelante y una carga del 30% en el sentido contrario. Tras un periodo de estabilización de acuerdo con el Apéndice II, eliminar la conexión de red durante 10 s y a continuación restablecerla. Permitir un periodo de estabilización de acuerdo con el Apéndice II para que el proceso de recuperación del reloj se establezca. Repetir con interrupciones de la red de 100 s;
- repetir la prueba utilizando el modelo de tráfico de red 2 definido en la cláusula VI.2.2 para cargar la red.

VI.5.2.6 Caso de prueba 16

El caso de prueba 16 modela una congestión de red temporal y su restablecimiento durante periodos de tiempo variables. Demuestra la capacidad que tiene la red de sobrevivir a una congestión temporal en la red de paquetes.

El caso de prueba 16 ha de atenerse a las condiciones de red siguientes:

- los paquetes para cargar la red han de utilizar el modelo de tráfico de red 1 definido en la cláusula VI.2.1;
- comenzar con una carga de perturbación de red del 40% en el sentido hacia adelante y una carga del 30% en el sentido contrario. Tras un periodo de estabilización de acuerdo con el

Apéndice II, aumentar la carga de perturbación de la red hasta el 100% (incluyendo retardos graves y pérdida de paquetes) durante 10 s y a continuación restablecer. Permitir un periodo de estabilización de acuerdo con el Apéndice II para que el proceso de recuperación del reloj se estabilice. Repetir con un periodo de congestión de 100 s;

- repetir la prueba utilizando el modelo de tráfico de red 2 definido en la cláusula VI.2.2 para cargar la red.

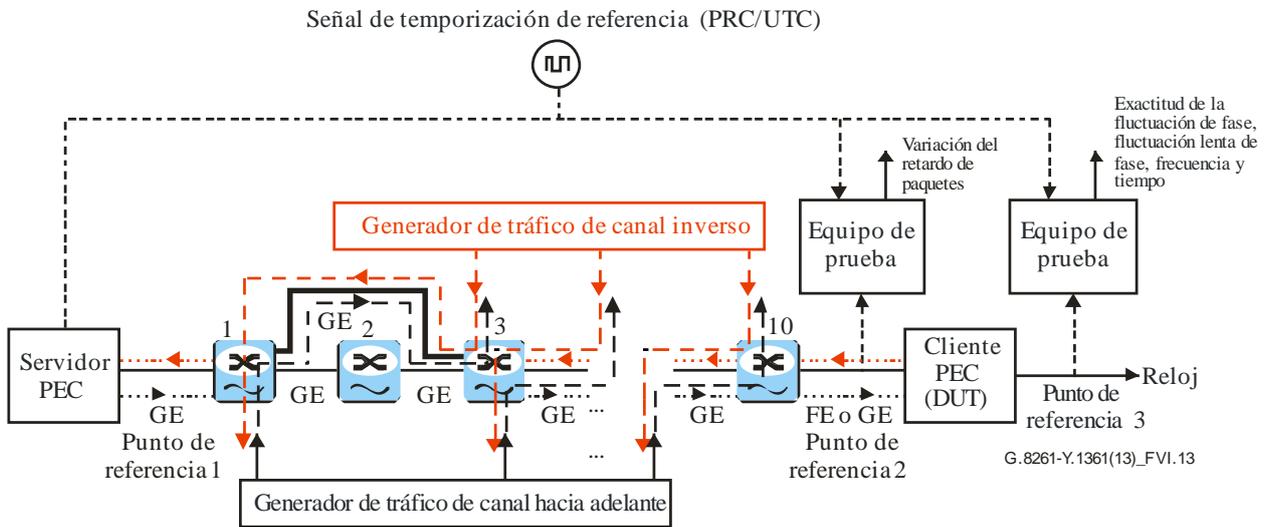
VI.5.2.7 Caso de prueba 17

El caso de prueba 17 modela los cambios de encaminamiento producidos por fallos en la red.

El caso de prueba 17 ha de atenerse a las condiciones de red siguientes:

- cambiar el número de conmutadores entre los DUT, provocando un cambio de escalón en el retardo de la red de paquetes. Los paquetes para cargar la red deben utilizar el modelo de tráfico de red 1 definido en la cláusula VI.2.1:
 - actualizar la configuración de prueba de la Figura VI.10 añadiendo un cable desde el conmutador en la posición "n" al conmutador en la posición "n+2" (la Figura VI.13 muestra un ejemplo en el que n=1 y se elude el conmutador 2). De esta forma, el tráfico se desvía (en ambos sentidos) para soslayar un conmutador en el trayecto del tráfico. Esto se realiza utilizando una bobina de fibra o añadiendo un equipo de degradación capaz de simular diferentes longitudes de cable (por ejemplo, se pueden simular 10 μ s y 200 μ s). La configuración se debe realizar de forma que el flujo del tráfico sometido a prueba se encamine directamente desde el conmutador en la posición "n" a través del nuevo enlace hasta el conmutador en la posición "n+2";
 - comenzar con una carga de perturbación de red del 40% en el sentido hacia adelante y del 30% en el sentido inverso;
 - tras un periodo de estabilización de acuerdo con el Apéndice II, desconectar el cable entre el conmutador "n" y el conmutador "n+2", de forma que el tráfico sometido a prueba se vea forzado a pasar por el conmutador en la posición "n+1" (la Figura VI.14 muestra un ejemplo en el que n=1, se quita el cable que va del conmutador 1 al conmutador 3 y se restablece la conexión al conmutador 2 con el fin de que el tráfico pase a través de ese conmutador);
 - permitir un periodo de estabilización de acuerdo con el Apéndice II para que el proceso de recuperación del reloj se estabilice y volver a conectar el enlace que se desconectó a fin de restablecer el tráfico en el trayecto original;
- repetir la prueba con el fin de generar un salto de fase mayor:
 - actualizar la configuración de prueba de la Figura VI.10 añadiendo un cable desde el conmutador en la posición "n" al conmutador en la posición "n+4". De esta forma, el tráfico se desvía (en ambos sentidos) para soslayar tres conmutadores en el trayecto del tráfico. Esto se realiza utilizando una bobina de fibra o añadiendo un equipo de degradación capaz de simular diferentes longitudes de cable (por ejemplo, se pueden simular 10 μ s y 200 μ s). La configuración se debe realizar de forma que el flujo del tráfico sometido a prueba se encamine directamente desde el conmutador en la posición "n" a través del nuevo enlace hasta el conmutador en la posición "n+4";
 - aplicar una carga de perturbación de red del 40% en el sentido hacia adelante y del 30% en el sentido inverso;
 - tras un periodo de estabilización de acuerdo con el Apéndice II, desconectar el cable entre el conmutador "n" y el conmutador "n+4" (de forma que el tráfico sometido a prueba se vea forzado a pasar por el conmutador en la posición "n+1");

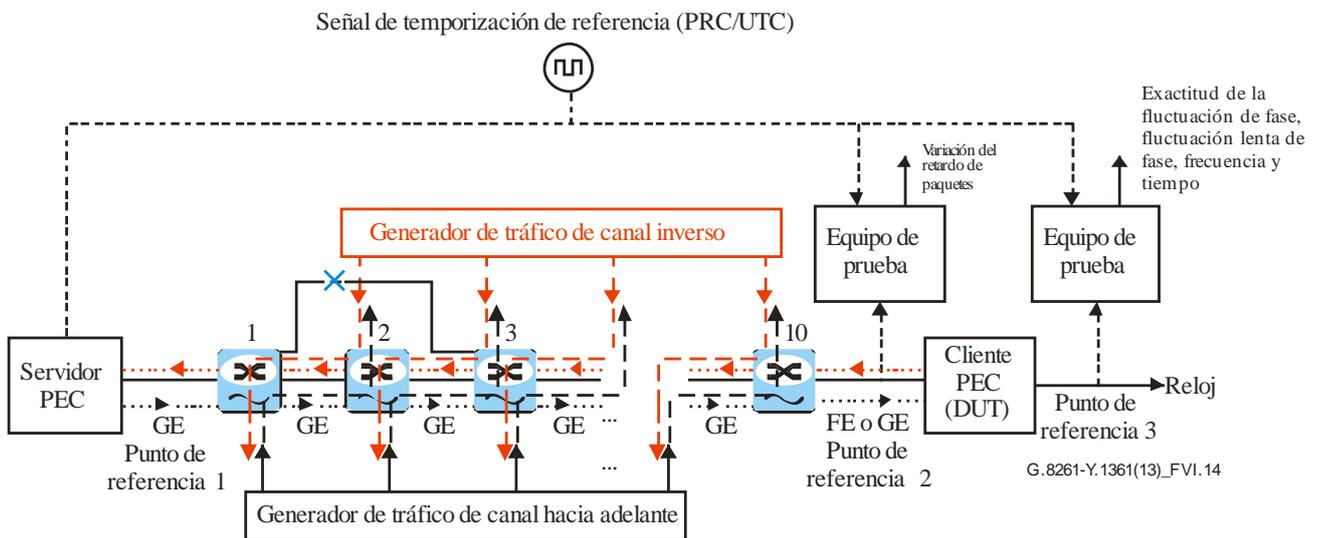
- permitir un periodo de estabilización de acuerdo con el Apéndice II para que el proceso de recuperación del reloj se establezca y volver a conectar el enlace que se desconectó a fin de restablecer el tráfico en el trayecto original;
- repetir la prueba utilizando el modelo de tráfico de red 2 definido en la cláusula VI.2.2 para cargar la red.



- - -> Carga de perturbación según los modelos de tráfico – sentido hacia adelante
 - - -> Carga de perturbación según los modelos de tráfico – sentido hacia atrás
 ...>... Flujo de interés – sentido hacia adelante
 ...>... Flujo de interés – sentido hacia atrás
 Conmutadores Ethernet

GE Ethernet a 1 Gbit/s
 FE Ethernet a 100 Mbit/s

Figura VI.13 – Detalles del caso de prueba 17



- - -> Carga de perturbación según los modelos de tráfico – sentido hacia adelante
 - - -> Carga de perturbación según los modelos de tráfico – sentido hacia atrás
 ...>... Flujo de interés – sentido hacia adelante
 ...>... Flujo de interés – sentido hacia atrás
 Conmutadores Ethernet

GE 1 Gbit/s Ethernet
 FE 100 Mbit/s Ethernet

Figura VI.14 – Detalles del caso de prueba 17

Apéndice VII

Límites de la fluctuación lenta de fase en el caso de instalación 1

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

VII.1 Límites para la interfaz a 2 048 kbit/s

El cuadro 1 se ha calculado en base a las consideraciones que siguen con referencia al Anexo A en [UIT-T G.823].

El presupuesto de fluctuación lenta de fase se puede dividir en tres componentes principales:

- fluctuación lenta de fase diurna;
- correspondencia asíncrona de 2 048 kbit/s;
- fluctuación lenta de fase causada por el ruido de reloj y los fenómenos transitorios.

Fluctuación lenta de fase diurna

No hay motivo para cambiarlo, y su amplitud es pequeña: 1 μ s.

Correspondencia asíncrona de 2 048 kbit/s

Se ha utilizado una ley de raíz cuadrática media (RMS) para calcular la acumulación de las 2UI por isla, tres islas acumularán $\sqrt{3} * 2UI$, es decir, 1,7 μ s, en vez de 2 μ s en el modelo de red original.

Fluctuación lenta de fase causada por el ruido de reloj y los fenómenos transitorios

Según la cláusula I.1.5 de [UIT-T G.823], el proceso de acumulación puede ser diferente dependiendo de la magnitud del desfase de frecuencia, lo que puede dar lugar a efectos correlacionados y no correlacionados. Se ha acordado una ley de acumulación de ruido RMS. Esto significa que cada una de las cuatro islas es responsable de la mitad del presupuesto de fluctuación lenta de fase, como se indica actualmente en la presente Recomendación. En el nuevo modelo de red, el ruido generado por las tres islas SDH viene dado por $\sqrt{3}$ el presupuesto de (el ruido generado por) una isla SDH de conformidad con la ley de acumulación RMS.

La cantidad total de fluctuación de fase atribuida por [UIT-T G.823] es de 15 μ s, y según las simulaciones es de 12,6 μ s.

La ley de acumulación entre SDH y CES difiere de la ley de acumulación entre islas SDH.

El ruido generado en una isla SDH es el resultado de los eventos de puntero VC-12, que no son frecuentes, al menos para un desplazamiento de frecuencia en el intervalo de 10^{-9} a 10^{-10} , como se indica en la cláusula I.1.5 de [UIT-T G.823]; de lo que resulta una probabilidad muy baja de que se produzcan punteros al mismo tiempo en varias islas.

En cuanto al ruido en una isla CES, parece muy diferente del observado en islas SDH. Este ruido se debe a la PDV.

Puesto que no se ha demostrado que la ley de acumulación RMS sea aplicable entre CES e islas SDH, se propone establecer la hipótesis de un nuevo modelo que tenga una ley de acumulación RMS para las tres islas SDH y una acumulación lineal para el CES.

Así pues, el presupuesto de fluctuación lenta de fase que puede ser asignado a un CES sería:

$$18 - (1 \text{ (fluct. lenta de fase diurna)} + \sqrt{3} * 2UI(3 \text{ corresp. VC-12}) + 12,6/2 * \sqrt{3}(3 \text{ islas SDH})) = 4,3 \mu\text{s}$$

Se asigna entonces una fluctuación lenta de fase de 4,3 μ s al CES para un periodo de 24 horas, y la plantilla de fluctuación lenta de fase se reduce aplicando un factor de 4,3/18 (0,24) para las otras partes planas (*plateau*) derivadas del Cuadro 2 de [UIT-T G.823].

VII.2 Límites para la interfaz a 1 544 kbit/s

El modelo de referencia y el presupuesto de fluctuación lenta de fase para 1 544 kbit/s se especifica en [UIT-T G.824], y consta de ocho islas SDH. Los componentes del presupuesto de fluctuación lenta de fase incluyen la sincronización de los conmutadores, el establecimiento de la correspondencia entre DS1 y DS3, el establecimiento de la correspondencia entre DS1 y VC-11, la fluctuación lenta de fase diurna (efectos de la temperatura en la fibra), el ruido de sincronización de NE y la fluctuación lenta de fase debida a punteros aleatorios. El presupuesto total de 18 microsegundos (durante 24 horas) permite 14,3 microsegundos de fluctuación lenta de fase entre conmutadores (véase la Figura A.1 de [UIT-T G.824]) y esto se ha subdividido para acomodar la sustitución de una isla SDH por una isla CES. En el procedimiento seguido se supone que la acumulación por la correspondencia de la fluctuación lenta de fase, el ruido de sincronización y la fluctuación debida a los punteros se basa en adición de ley RMS. En base a esa adición RMS, la porción disponible de los 18 microsegundos (es decir, $12,7/\sqrt{8}$, véase el Cuadro VII.1) para cada una de las ocho islas es ahora de 4,5 microsegundos ($12,7/\sqrt{8}$).

Cuadro VII.1 – Asignación de los componentes del presupuesto de fluctuación lenta de fase a 1 544 kbit/s

Componente del presupuesto	Asignación	Porción disponible para subdividir
Sincronización del conmutador	3,7	
Correspondencia entre E11 y E31	0,3	
Correspondencia entre E11 y VC-11	2,6	2,6
Fluct. lenta fase diurna (temper.)	1,3	
Ruido de sinc. de NE/punteros	10,1	10,1
Total	18,0	12,7

En el Cuadro 2 se da la fluctuación lenta de fase resultante para cada isla en términos de MTIE a lo largo de todos los periodos de observación hasta 24 horas. El cuadro se basa en una reducción uniforme de la especificación de interfaz del Cuadro 2 de [UIT-T G.824]. Se señala que este cuadro tiene en cuenta también el requisito del establecimiento de la correspondencia de la fluctuación de fase para una isla VC-11 única, 0,7 intervalos unitarios cresta a cresta (*UIpp, unit interval, peak-to-peak*), que se especifica en [b-UIT-T G.783], (véase el Cuadro 15-3 de [UIT-T G.783]).

Los estudios sobre acumulación de la fluctuación lenta de fase que se llevaron a cabo para obtener los componentes de la fluctuación lenta de fase SDH se basaron en simulaciones extensivas con las que verificar la posibilidad de cumplir el requisito de 18 microsegundos en el modelo de referencia SDH. Es posible que se necesite un trabajo de simulación futuro, cuando los modelos de red CES y las correspondencias se especifiquen con más detalle. Las cifras indicadas podrían ser revisadas como consecuencia de los resultados de ese trabajo.

Apéndice VIII

Mensajería de estado de sincronización en PHY Ethernet síncrona

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

[UIT-T G.8264] proporciona información detallada sobre la SSM para Ethernet síncrona.

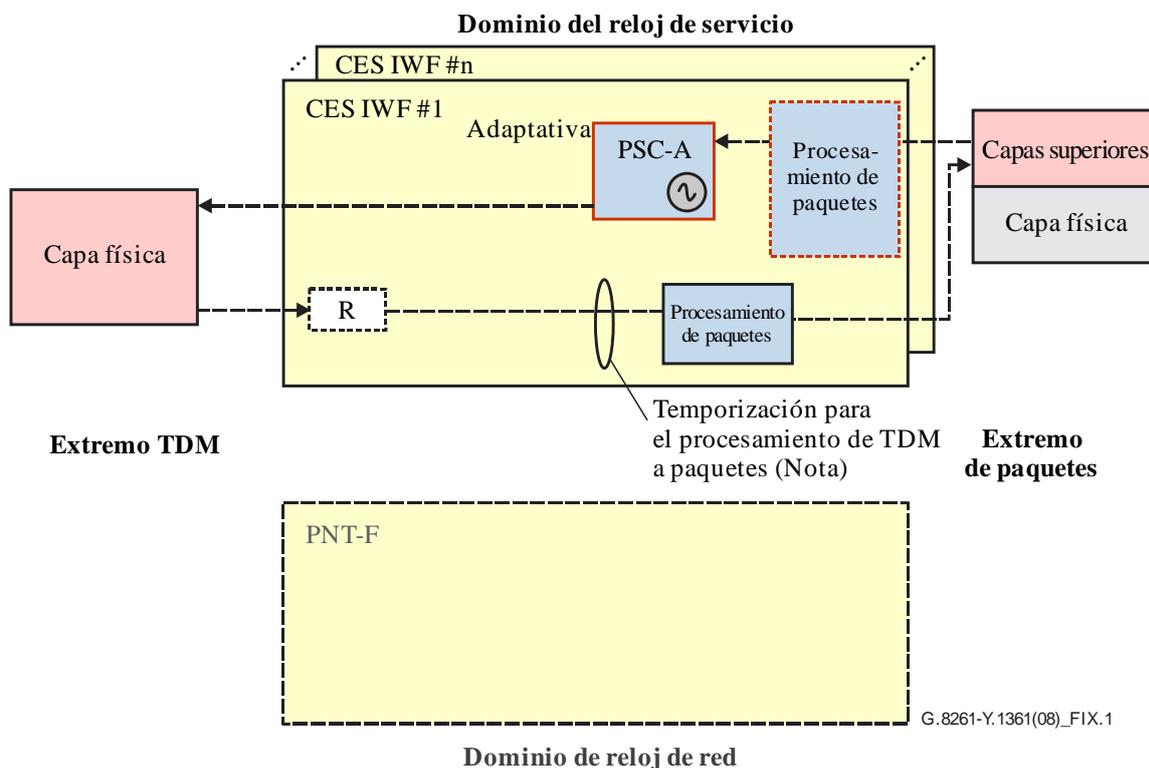
Apéndice IX

Ejemplos de IWF

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

A continuación se muestran ejemplos de aplicaciones de IWF típicas.

La Figura IX.1 muestra el caso en el que la temporización del reloj de servicio se maneja mediante el método adaptativo y no se implementa ninguna función PNT (no se tiene acceso al reloj de red).



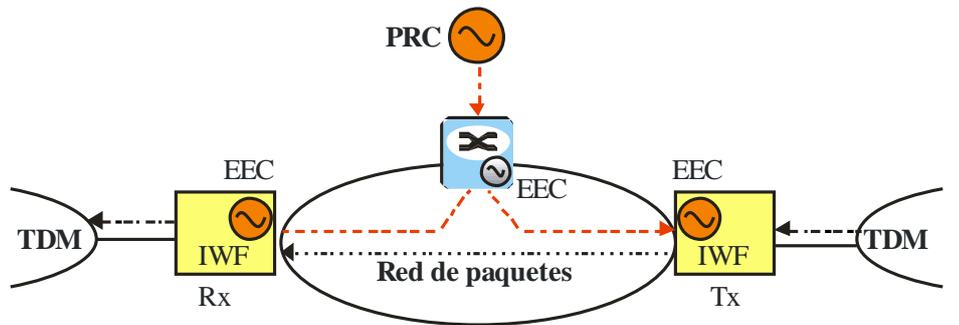
-----> Flujo de temporización

n Número de usuarios CES terminados por la CES IWF

NOTA – Esta temporización impulsa la generación de los paquetes salientes y constituye la base para generar mensajes de temporización mediante métodos adaptativos

Figura IX.1 – Método adaptativo en la CES IWF: sin funciones PNT

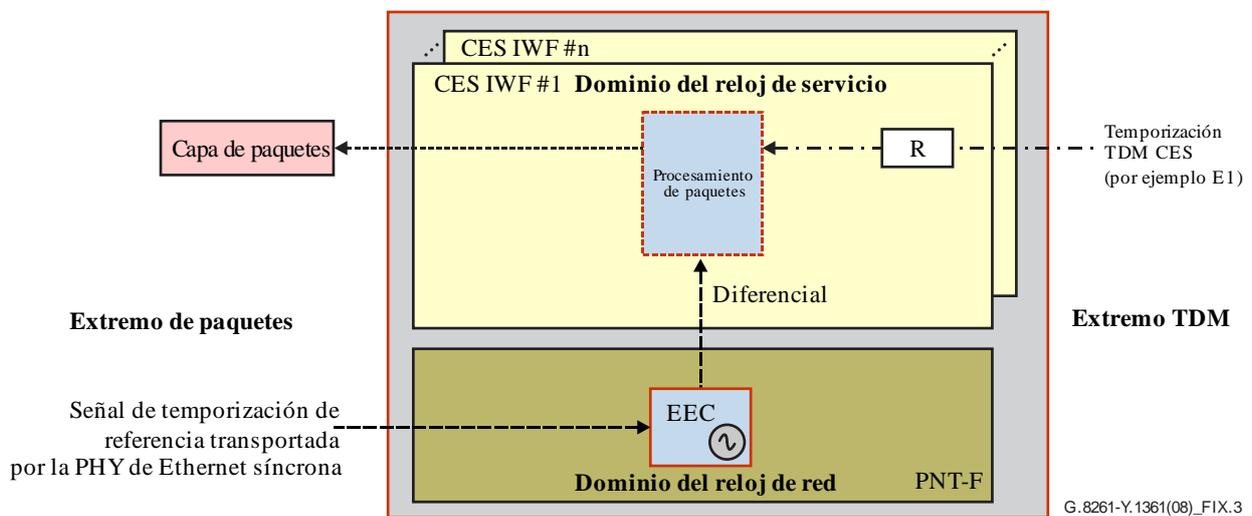
Las figuras siguientes presentan un ejemplo de los dominios de servicio y de red en el caso de recuperación del reloj TDM de acuerdo con el método diferencial en el que la referencia común se distribuye mediante Ethernet síncrona.



G.8261-Y.1361(13)_FIX.2

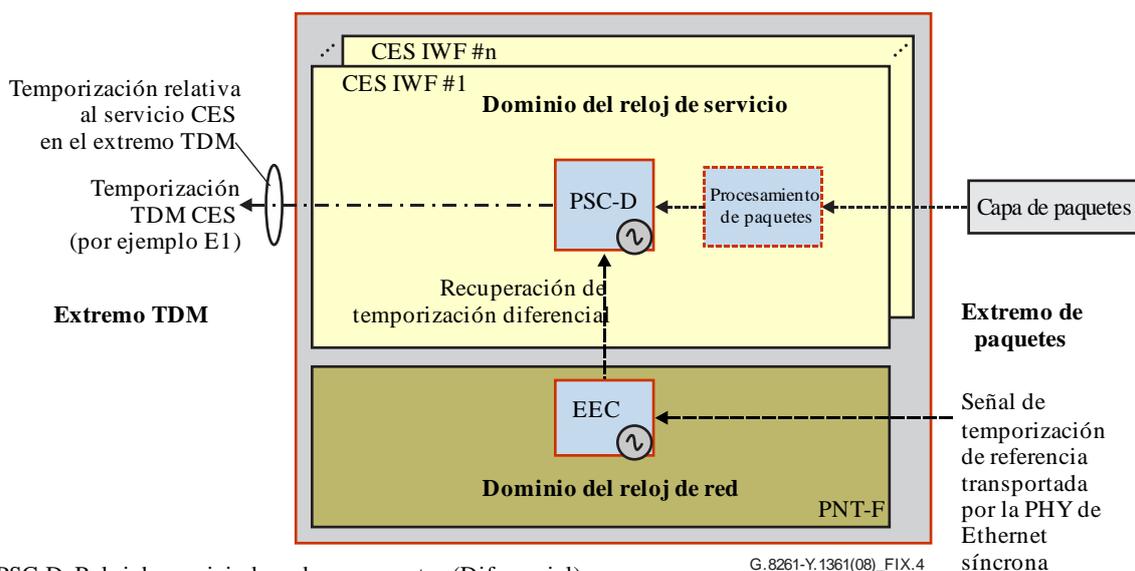
- > Flujo de temporización del reloj de red
-> Flujo de temporización del reloj de servicio
-> Mensajes de temporización que soportan el método diferencial

Figura IX.2 – Ejemplo de método diferencial que utiliza una referencia común distribuida por Ethernet síncrona



G.8261-Y.1361(08)_FIX.3

Figura IX.3 – Dominios del reloj de servicio y de red en la IWF en el extremo transmisor (Tx)

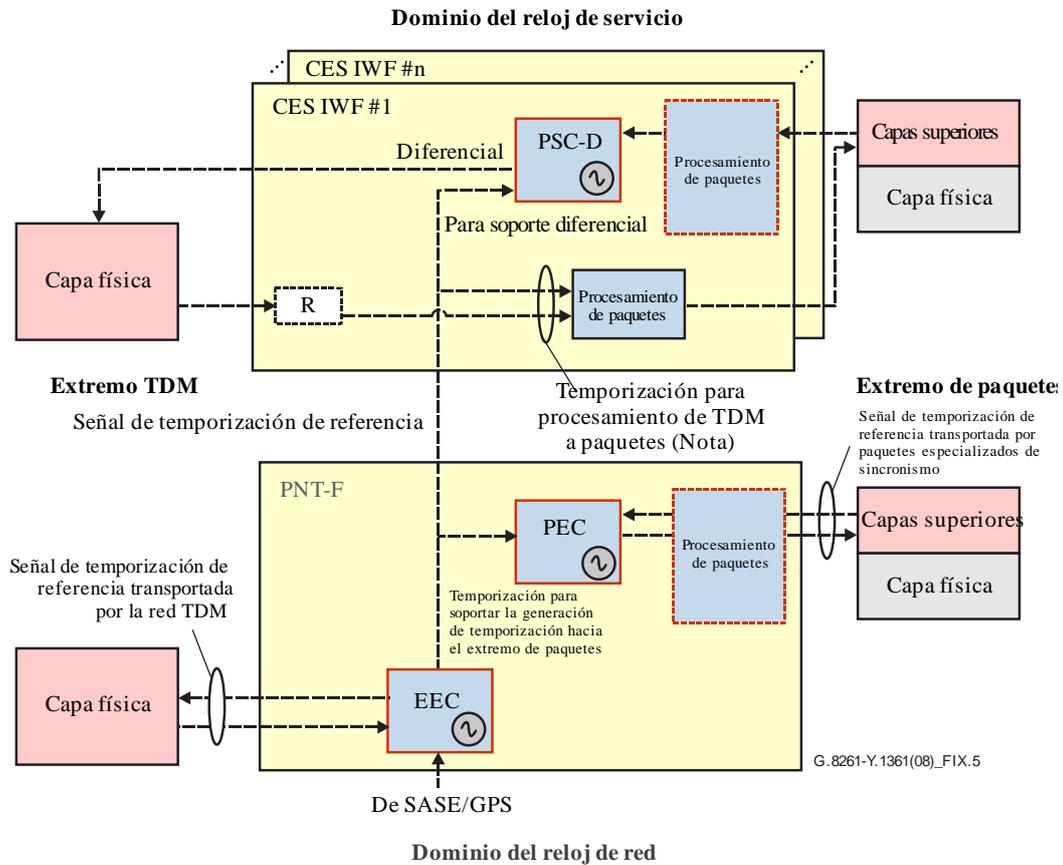


PSC-D Reloj de servicio basado en paquetes (Diferencial)

G.8261-Y.1361(08)_FIX.4

Figura IX.4 – Dominio del reloj de servicio y de red en la IWF en el extremo receptor (Rx)

Los ejemplos siguientes muestran la temporización de red transportada por la red TDM. Esta temporización se utiliza para soportar la operación diferencial de la CES IWF y también para sincronizar el PEC con el fin de generar las indicaciones de tiempo que se han de entregar por la red de paquetes.



-----> Flujo de temporización

n Número de usuarios CES terminados por la CES IWF

NOTA—Esta temporización impulsa la generación de los paquetes salientes y constituye la base para generar mensajes de temporización para los métodos diferenciales. La señal de temporización de referencia generada por PNT-F y la que debe soportar el método diferencial pueden ser activadas por un reloj diferente del EEC (por ejemplo SEC)

Figura IX.5 – Método diferencial en la CES IWF: EEC y PEC en la PNT

Apéndice X

Consideraciones sobre la medición de Ethernet síncrona siguiendo las metodologías UIT-T en comparación con las mediciones de fluctuación de fase del IEEE

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

Las especificaciones y las metodologías de prueba para la fluctuación de fase en Ethernet difieren de las de SDH porque se utilizan métodos de temporización diferentes. En sistemas síncronos como SDH, los componentes del sistema están sincronizados a un reloj común. En sistemas asíncronos, tales como Ethernet, la temporización de cada componente se obtiene ya sea mediante relojes distribuidos o mediante señales de reloj recuperadas a partir de los datos. En este caso, la fluctuación de fase generada por los componentes debe estar limitada aunque la fluctuación de fase transferida desde un componente a otro es menos importante que para los sistemas síncronos en los que la fluctuación de fase puede aumentar de un componente a otro.

En los sistemas SDH, tres mediciones importantes en diferentes configuraciones de prueba definen las características de calidad de la fluctuación de fase: la generación de fluctuación de fase limitada en banda, la tolerancia de entrada de la fluctuación de fase sinusoidal y la transferencia de fluctuación de fase.

Ethernet considera que son fundamentales dos mecanismos que producen fluctuación de fase, a saber, la fluctuación de fase determinística y la fluctuación de fase aleatoria. Se especifican requisitos diferentes para los transmisores y los receptores.

Cuadro X.1 – Comparación entre las mediciones de fluctuación de fase del UIT-T y del IEEE

	SDH	Ethernet
Norma de la red Norma del equipo de prueba	[b-UIT-T G.783], [UIT-T G.825] [UIT-T O.172]	[IEEE 802.3]
Aplicaciones de fluctuación de fase	Generación de fluctuación de fase Tolerancia de entrada a la fluctuación de fase Transferencia de fluctuación de fase	(Nota 1) (Nota 2) –
<p>NOTA 1 – Existen tres metodologías posibles para medir la salida de fluctuación de fase:</p> <ol style="list-style-type: none">1) medición en el dominio del tiempo utilizando un osciloscopio que caracterice el diagrama en ojo de datos.2) medición en el dominio del tiempo utilizando el barrido BERT trasladando el punto de muestreo de los datos dentro del diagrama en ojo de los datos.3) análisis del intervalo de tiempo basado en mediciones precisas del intervalo de tiempo entre los cruces de umbrales de la forma de onda del transmisor. <p>NOTA 2 – Prueba de la sensibilidad del receptor estresado (SRS, <i>stressed receiver sensitivity</i>) en los receptores. La prueba está diseñada para verificar que un receptor puede funcionar con una BER mayor que 10^{-12} cuando recibe la señal más desfavorable permitida. Esta prueba es análoga a la de la tolerancia de la fluctuación de fase. La prueba SRS también se denomina "prueba del ojo cansado" o "prueba de tolerancia del receptor". Una SRS está compuesta por dos partes: una máscara en forma de ojo con combinaciones de degradaciones y una plantilla de fluctuación de fase sinusoidal utilizada para mediciones paso a paso.</p>		

Apéndice XI

Relación entre los requisitos incluidos en esta Recomendación y otras Recomendaciones relativas a la sincronización

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

El UIT-T ha aprobado la siguiente familia de Recomendaciones (serie G), que describen diversos aspectos de las funciones de sincronización para TDM:

- UIT-T G.803 – Arquitectura de redes de transporte basadas en la jerarquía digital síncrona – Esta Recomendación describe la arquitectura funcional de las redes de transporte, incluidos los principios de sincronización de redes para las redes basadas en la jerarquía digital síncrona.
- UIT-T G.810 – Definiciones y terminología para redes de sincronización – Esta Recomendación proporciona las definiciones y abreviaturas utilizadas en las Recomendaciones sobre temporización y sincronización.
- UIT-T G.823 – Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía de 2 048 kbit/s – Esta Recomendación especifica los límites de red máximos de la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase que no deberán ser rebasados y la tolerancia mínima de la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase de los equipos, que debe estar presente en cualquiera interfaz pertinente de transporte o sincronización basada en la jerarquía de 2 048 kbit/s.
- UIT-T G.824 – Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía de 1 544 kbit/s – Esta Recomendación especifica los límites de red máximos de la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase que no deberán ser rebasados en las interfaces de red de transporte o de sincronización y la tolerancia mínima de los equipos a la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase que deberá proporcionarse en toda interfaz de transporte o sincronización.
- UIT-T G.825 – Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía digital síncrona – Esta Recomendación especifica los límites de red máximos de la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase que no deberán ser rebasados y la tolerancia mínima de los equipos a la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase que deberá proporcionarse en toda interfaz apropiada de transporte o sincronización basada en la jerarquía digital síncrona (SDH).
- UIT-T G.812 – Requisitos de temporización de relojes subordinados adecuados para utilización como relojes de nodo en redes de sincronización – Esta Recomendación describe los requisitos mínimos para dispositivos de temporización utilizados como relojes de nodo en redes de sincronización. Esta Recomendación incluye especificaciones para tres relojes en el texto principal y para otros tres relojes en el Anexo A.
- UIT-T G.813 – Características de temporización de relojes subordinados de equipos de la jerarquía digital síncrona – Esta Recomendación describe los requisitos mínimos de los dispositivos de temporización utilizados para sincronizar equipos de red que funcionan de acuerdo con los principios de la jerarquía digital síncrona.
- UIT-T G.781 – Funciones de capas de sincronización – Esta Recomendación define las funciones atómicas que forman parte de 2 capas de sincronización, la capa de distribución de sincronización (SD) y la capa de sincronización de red (NS). También define algunas funciones atómicas que forman parte de la capa de transporte y están relacionadas con la sincronización.

- UIT-T G.783 – Características de los bloques funcionales del equipo de la jerarquía digital síncrona – Esta Recomendación especifica los componentes y la metodología que deben emplearse para especificar la funcionalidad de elementos de red en la jerarquía digital síncrona.

El UIT-T ha estado trabajando en la siguiente familia de Recomendaciones (series G.826x- e Y.136x), que describen diversos aspectos de las funciones de sincronización de frecuencia para redes de paquetes:

- UIT-T G.8261/Y.1361 – Aspectos de la temporización y la sincronización en las redes de paquetes – Esta Recomendación define aspectos de la sincronización en las redes de paquetes. Especifica los límites máximos de red de la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase que no han de ser sobrepasados. Establece la tolerancia mínima de los equipos a la fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase que habrá de estar presente en las interfaces TDM y de sincronización de la frontera de estas redes de paquetes. Indica además los requisitos mínimos de la función de sincronización de los elementos de red.
- UIT-T G.8261.1/Y.1361 – Límites de la variación del retardo de paquetes en la red aplicables a los métodos por paquetes (Sincronización de la frecuencia) – Esta Recomendación se refiere a los aspectos de sincronización en las redes de paquetes. En particular especifica el modelo ficticio de referencia y los límites de red PDV aplicables cuando la sincronización de frecuencia se transmite mediante paquetes y se recupera siguiendo el método de recuperación de reloj adaptativo definido en [UIT-T G.8261] y [UIT-T G.8260]. Especifica la tolerancia mínima de los equipos a la variación del retardo de paquetes a partir de la métrica definida en [UIT-T G.8260] en los límites de esas redes de paquetes.
- UIT-T G.8262/Y.1362 – Características de temporización del reloj subordinado de los equipos síncronos de Ethernet (EEC) – Esta Recomendación describe los requisitos de los dispositivos de temporización utilizados para sincronizar equipos de red que utilizan Ethernet síncrona.
- UIT-T G.8263/Y.1363 – Características de temporización de los relojes de los equipos por paquetes – Esta Recomendación describe los requisitos de los dispositivos de temporización utilizados para sincronizar equipos de red que funcionan en la IWF y en otros elementos de red como se define en [UIT-T G.8261/Y.1361]. Esta Recomendación define los requisitos para relojes basados en paquetes.
- UIT-T G.8264/Y.1364 – Distribución de información de temporización por redes de paquetes – Esta Recomendación describe los requisitos sobre las redes Ethernet en relación con la transferencia de frecuencia. Especifica el canal de transporte SSM, a saber, el canal de mensajes de sincronización de Ethernet, el comportamiento del protocolo y el formato de los mensajes. Esta Recomendación también presenta la arquitectura necesaria en el lenguaje formal de modelización.
- UIT-T G.8265/Y.1365 – Arquitectura y requisitos para la entrega de frecuencia basada en paquetes – Esta Recomendación describe la arquitectura y los requisitos para la distribución de frecuencia basada en paquetes en redes de telecomunicaciones. Entre los ejemplos de distribución de frecuencia basada en paquetes se puede citar el protocolo de tiempo de red (NTP, *network time protocol*) y [b-IEEE 1588-2008], descrito brevemente aquí. En otras Recomendaciones se definen los detalles necesarios para utilizar [b-IEEE 1588-2008] de forma coherente.
- UIT-T G.8265.1/Y.1365.1 – Precisión del perfil de protocolo telecom para la sincronización de frecuencias – Esta Recomendación presenta el perfil del protocolo de tiempo de precisión (PTP) del UIT-T para la distribución de frecuencia sin soporte de temporización de la red (unidifusión). Se presentan los detalles necesarios para utilizar IEEE 1588 de manera coherente con la arquitectura descrita en [UIT-T G.8265/Y.1365]. En

esta edición de la Recomendación se define el perfil PTP sólo para unidifusión. En futuras ediciones de la Recomendación se incluirá otro perfil para el modo unidifusión/multidifusión mixto.

El Cuadro XI.1 muestra la relación entre la familia de Recomendaciones de sincronización TDM y la familia de Recomendaciones de sincronización de paquetes.

Cuadro XI.1 – Familia de Recomendaciones sobre sincronización TDM versus familia de Recomendaciones sobre sincronización de paquetes

Requisitos	Red TDM	Red de paquetes
Requisitos de arquitectura funcional y de sincronización de red	G.803, G.810 G.823, G.824, G.825	G.8261/Y.1361 G.8261.1/Y.1361 G.8265/Y.1365
Especificación de reloj de equipo	G.812 (Tipo IV), G.813	G.8262/Y.1362 G.8263/Y.1363
Funciones de la capa de sincronización, bloques funcionales, flujo de temporización y SSM. Protocolo de temporización de paquetes	G.783, G.781	G.8264/Y.1364, G.781 G.8265.1/Y.1365.1

Apéndice XII

Principios básicos de los métodos basados en paquetes

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

XII.1 General

Considérese la situación en la que un reloj subordinado (también denominado cliente) obtiene su temporización de un reloj maestro (también llamado servidor). El intercambio de paquetes entre el maestro y el subordinado indica las mediciones del retardo de tránsito y el desfase del reloj entre los dos, como se ilustra en la Figura 5-20. Los principios de temporización en las redes de paquetes que aquí se describen son bastante generales. Son ejemplos que pueden aplicarse a métodos tanto unidireccionales como bidireccionales. El protocolo concreto (por ejemplo, [b-IEEE-1588] o NTP) utilizado determina los detalles (método y convenios subyacentes), mientras las mediciones ("indicación de tiempo") se comunican entre las dos entidades. Cabe señalar que el número de paquetes transmitido en los dos sentidos no tiene por qué ser el mismo y, además, pueden transmitirse otros paquetes que contienen información pero que no se mide el retardo de tránsito.

Una hipótesis fundamental es que los trayectos de los paquetes (rutas) pueden considerarse estáticos durante cierto intervalo de tiempo, de modo que los cambios fundamentales se producen con poca frecuencia. Si el intervalo de tiempo entre dos cambios significativos del trayecto de transmisión es mucho mayor que el intervalo durante el que se intercambian paquetes, el trayecto puede considerarse constante para un determinado conjunto de mediciones. Es decir, el trayecto que siguen los paquetes es el mismo durante el intervalo de medición.

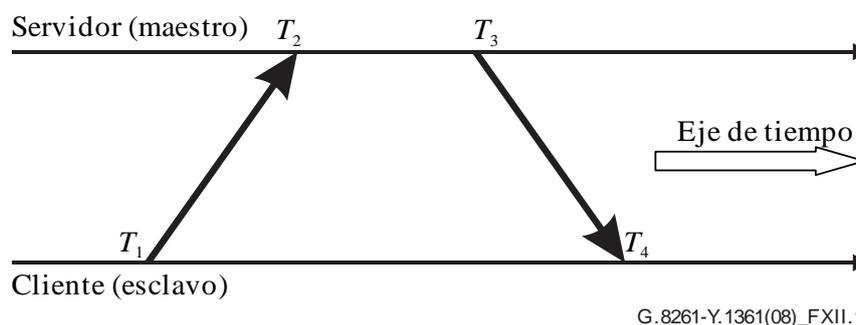


Figura XII.1 – Concepto de indicación de tiempo en el intercambio de paquetes entre el servidor y el cliente

Para los paquetes cuyo tiempo de tránsito se mide, se definen los siguientes indicadores de tiempo:

- T_1 : Indicador de tiempo que representa la mejor estimación de la época de origen de transmisión de un paquete o trama procedente del reloj subordinado.
- T_2 : Indicador de tiempo que representa la mejor estimación de la época de origen de recepción de un paquete o trama procedente del reloj maestro.
- T_3 : Indicador de tiempo que representa la mejor estimación de la época de origen de transmisión de un paquete o trama procedente del reloj maestro.
- T_4 : Indicador de tiempo que representa la mejor estimación de la época de origen de recepción de un paquete o trama procedente del reloj subordinado.

La representación completa de un valor de la indicación de tiempo genérica puede construirse del modo siguiente:

$$T_{TS}(n) = T(n) + e_{TS}(n) + e_{CLK}(n) \quad (\text{XII-1})$$

La Ecuación XII-1 responde al hecho de que el indicador de tiempo (valor numérico) asociado a un paquete (T_{TS}) guarda relación con la época de tiempo real de dicho paquete ($T(n)$) con dos términos de error. El primero es la contribución directa del error del reloj local, e_{CLK} . El segundo es la imprecisión al indicar el tiempo, e_{TS} , que puede ocultar el comportamiento del reloj. El índice " n " se incluye para indicar que el paquete forma parte de una secuencia de paquetes.

A partir de la Figura XII.1, se pueden definir los siguientes parámetros de flujo de temporización importantes basados en la indicación de tiempo. Estos parámetros se aplican tanto a transferencias unidireccionales como bidireccionales.

Considérese, en primer lugar, el caso del modo de transferencia unidireccional (frecuencia).

Una transferencia unidireccional es una operación asimétrica que sólo requiere el envío de un paquete o PDU desde una dirección. Por ejemplo, un flujo de temporización que procede del reloj maestro y termina en el reloj subordinado. De los cuatro indicadores de tiempo descritos en la Figura XII.1, sólo dos son aplicables a este modo. Cuando el flujo de indicación de tiempo procede del maestro, el convenio establece que el par de indicadores de tiempo (T_3, T_4) describe el proceso. El indicador de tiempo de origen T_3 tiene su referencia en el tiempo del maestro (escala de tiempos del maestro), mientras que el indicador de tiempo de terminación T_4 tiene su referencia en la escala de tiempo del subordinado.

Es posible calcular el desfase de medición, δ_{MS} , del modo siguiente (el subíndice " MS " indica el sentido desde el maestro hacia el esclavo, mientras que " SM " indica desde el subordinado al maestro):

$$\delta_{MS}(n) = T_4(n) - T_3(n) \quad (\text{XII-2a})$$

siendo:

$$T_4(n) = T(n) + \Delta_{MS}(n) + e_{S-TS}(n) + e_{S-CLK}(n) \quad (\text{XII-2b})$$

donde $\Delta_{MS}(n)$ es el retardo de red que experimenta el n -ésimo paquete transmitido desde el maestro hacia el subordinado, y

$$T_3(n) = T(n) + e_{M-TS}(n) + e_{M-CLK}(n) \quad (\text{XII-2c})$$

Así,

$$\delta_{MS}(n) = e_{S-CLK}(n) - e_{M-CLK}(n) + \Delta_{MS}(n) + e_{S-TS}(n) - e_{M-TS}(n) \quad (\text{XII-2d})$$

Obsérvese que también puede efectuarse una transferencia unidireccional de paquetes desde el reloj cliente hasta el servidor y que puede definirse un desfase de medición equivalente para este caso. Análogamente, puede calcularse el desplazamiento de medición, δ_{SM} , en el sentido del subordinado al maestro mediante la siguiente ecuación:

$$\delta_{SM}(n) = T_2(n) - T_1(n) \quad (\text{XII-2e})$$

y luego la ecuación (Ecuación XII-2f) que es similar a la (Ecuación XII-2d) con las funciones de maestro y subordinado invertidas. $\Delta_{MS}(n)$ es el retardo de red que experimenta el n -ésimo paquete transmitido desde el cliente hacia el servidor.

$$\delta_{SM}(n) = e_{M-CLK}(n) - e_{S-CLK}(n) + \Delta_{SM}(n) + e_{M-TS}(n) - e_{S-TS}(n) \quad (\text{XII-2f})$$

Las propiedades más importantes del desfase de medición son las siguientes:

- 1) la medición del desfase se ve falseada por el retardo de paquete unidireccional (Δ). El retardo de paquete no puede estimarse con una medición unidireccional si se desconoce el desfase del reloj cliente. Δ_{MS} y δ_{SM} son estimaciones del retardo unidireccional y adolecen de imprecisiones debidas a errores en los indicadores de tiempo y del reloj;

- 2) al seleccionar transacciones de paquetes unidireccionales con buenas propiedades de retardo (estable) se pueden minimizar los efectos negativos del retardo de paquetes falseado;
- 3) la alteración residual puede reducirse estimando el retardo unidireccional mediante otros mecanismos (tales como los indicadores de tiempo relativos al sentido inverso) o bien haciendo caso omiso de la estimación de frecuencias, dado que el desfase de frecuencia es simplemente la velocidad de cambio del desfase, que es igual a cero en caso de un error de fase falseado constante;
- 4) los errores al indicar el tiempo en el servidor y en el cliente no pueden eliminarse y deben limitarse adecuadamente para lograr un funcionamiento aceptable.

El desfase de medición en una transferencia de paquetes unidireccional es análogo a las mediciones de errores de fase obtenidas mediante la sincronización unidireccional de la capa física actual. Así, es capaz de realizar transferencias de frecuencia pero no transferencias de tiempo con exactitud.

A diferencia del funcionamiento unidireccional, el funcionamiento con indicación de tiempo bidireccional implica un flujo de paquetes de temporización en ambos sentidos. Es decir, se utilizan los cuatro indicadores de tiempo descritos en la Figura XII.1. En una transacción bidireccional de indicación de tiempo de paquetes, el flujo de indicación de tiempo lo inicia un elemento (normalmente el cliente en NTP y el servidor en PTP).

El sentido de inicio se considera el sentido hacia adelante, mientras la transacción de retorno se considera el sentido hacia atrás. Sin embargo, puesto que cada sentido se puede considerar una transacción unidireccional, la transaccional bidireccional se puede considerar de la forma siguiente:

$$\delta_{SM}(n) = e_{M-CLK}(n) - e_{S-CLK}(n) + \Delta_{SM}(n) + e_{M-TS}(n) - e_{S-TS}(n) \quad (\text{XII-3a})$$

$$\delta_{MS}(n) = e_{S-CLK}(n) - e_{M-CLK}(n) + \Delta_{MS}(n) + e_{S-TS}(n) - e_{M-TS}(n) \quad (\text{XII-3b})$$

Se pueden estimar los dos parámetros clave a partir del intercambio bidireccional, es decir, a partir de δ_{SM} y δ_{MS} . Para simplificar, debemos suponer a partir de este momento que los errores de los indicadores de tiempo son despreciables. El primer parámetro clave se denomina *desplazamiento* (*offset*):

$$offset(n) = \frac{\delta_{MS}(n) - \delta_{SM}(n)}{2} = e_{S-CLK}(n) - e_{M-CLK}(n) + \frac{[\Delta_{MS}(n) - \Delta_{SM}(n)]}{2} \quad (\text{XII-4})$$

El *desplazamiento* representa una estimación de la corrección de reloj necesaria para alinear el tiempo del cliente con el tiempo del servidor. El segundo parámetro es el retardo de ida y vuelta (*rtd*, *round-trip delay*) que representa una estimación del retardo total de ida y vuelta en el trayecto:

$$rtd(n) = \delta_{MS}(n) + \delta_{SM}(n) = \Delta_{MS}(n) + \Delta_{SM}(n) \quad (\text{XII-5})$$

Es evidente que, para obtener una estimación fundamentada del desplazamiento, los retardos de los trayectos de ida y de vuelta tienen que ser conocidos o se deben suponer simétricos. Cabe destacar que una estimación de este tipo del retardo de ida y vuelta depende de que los errores de reloj sean iguales en ambos sentidos. Por supuesto, si el intervalo de tiempo entre los dos intercambios de paquetes es corto, entonces se puede suponer que los errores de reloj son iguales en ambas transacciones.

El error en (la estimación de) el reloj cliente, ϵ , se puede atribuir a las causas siguientes:

- 1) el retardo de tránsito en ambas direcciones no es igual. La diferencia afecta directamente a la estimación del error de reloj de cliente. El error, $\Delta\epsilon$, viene dado por:

$$\Delta\epsilon = \left(\frac{1}{2}\right)(\Delta_{MS} - \Delta_{SM}) \quad (\text{XII-6})$$

- 2) las mediciones de la indicación de tiempo puede que no se realicen con precisión. Es decir, mientras T_1 es el inicio temporal real del paquete a partir del servidor, el valor utilizado en el cálculo puede ser una estimación del instante de partida. De la misma forma, T_2 pretende ser el tiempo de llegada real. El valor utilizado puede ser una estimación. Para que los valores de los indicadores de tiempo sean precisos, tienen que obtenerse por medios que se encuentren tan cerca de la capa PHY como sea posible y por lo tanto el tiempo de salida (tiempo de llegada) no se ve comprometido por ningún retardo (variable) atribuible a esas entidades, como el sistema de operación y la interrupción del tratamiento. Seguirán existiendo algunos errores residuales asociados con la resolución y la variación del retardo de la indicación de tiempo en la propia capa PHY. La resolución de la indicación de tiempo se puede conseguir mediante un diseño adecuado. El ruido de PHY debe limitarse o filtrarse en función del transporte;
- 3) los retardos de tránsito Δ_{MS} y Δ_{SM} no son fijos y cambian de un paquete a otro debido a la variación del retardo de paquetes (PDV, *packet delay variation*) asociada tanto con los efectos relacionados con las colas como con los efectos de transporte físico en la red.

XII.2 Reducción de la variación del retardo de paquetes mediante selección de paquetes

Un concepto importante es que un filtro de reloj o un servo de reloj que funciona con los parámetros de medición definidos anteriormente puede seleccionar o ponderar una transacción para optimizar la estabilidad global de reloj. Es decir, mediante una clasificación y una selección adecuada de los paquetes se pueden reducir los efectos nocivos de la variación en el retardo de paquetes

La suposición de que el trayecto es constante durante el intervalo de observación implica una situación en la que la variación del retardo de paquetes tendrá una función de distribución con un umbral que cambia suavemente. El umbral es el retardo mínimo que puede experimentar un paquete (u otra unidad de datos de protocolo como una trama de capa 2) en un determinado trayecto. El umbral se puede considerar como la condición en la que tanto la cola de salida como la del sistema (en cualquier equipo implicado en el flujo, incluidos la fuente, el destino y los elementos que intervienen) están "vacías" cuando ese paquete en particular necesita el recurso y, por lo tanto, no retrasa la transmisión del paquete. La variación del retardo de paquetes residual se asocia entonces con los mecanismos de fluctuación de fase y de fluctuación lenta de fase de la capa física. En condiciones normales de carga no congestionada, en muchos casos, se ha observado que una fracción razonable del número total de paquetes atravesará la red en o cerca de ese umbral, incluso cuando otros puedan experimentar retardos bastante más amplios. Este tipo de comportamiento se ha considerado en esta Recomendación (véase el Apéndice I). En estos casos, la distribución PDV muestra un alto grado de asimetría cuando la red está muy cargada. Es decir, la densidad de probabilidad puede estar más concentrada cerca de ese umbral, con una fracción relativamente alta del total de paquetes experimentando ese retardo "mínimo" (o "casi mínimo"). Este fenómeno se encuentra en estudio. Un servo o filtro de reloj adecuadamente diseñado puede aprovechar la asimetría para reducir los efectos en la inestabilidad en la larga cola de la distribución PDV.

En principio, el ruido de transferencia basado en el umbral está limitado por algunos factores tales como:

- 1) retardo de propagación "velocidad de la luz" de la capa física;
- 2) resolución de la indicación de tiempo;
- 3) retardos en la correspondencia sobre transporte físico no basado en Ethernet (Ethernet por xDSL, PON, etc.);
- 4) otros mecanismos con pequeñas variaciones del retardo, tales como fluctuación de fase de reloj PHY y fluctuación de fase de dominio de reloj del plano anterior;
- 5) inclinación en el desplazamiento del reloj local durante la evaluación del umbral.

XII.3 Comparación entre los métodos basados en paquetes y de PHY síncrona

Existen varias diferencias entre los métodos basados en paquetes (por ejemplo, [b-IEEE 1588], NTP) y los métodos de PHY síncrona como Ethernet síncrona. A continuación se tratan algunos de ellos.

- 1) Los métodos de PHY síncrona generalmente son métodos unidireccionales adecuados para la armonización de frecuencias. Los métodos basados en paquetes pueden funcionar en un modo unidireccional para lograr la armonización de frecuencias y aproximar la alineación de tiempo. El funcionamiento de un método basado en paquetes en un modo bidireccional puede lograr la alineación de tiempo así como la armonización de frecuencia.
- 2) Puesto que la información de temporización en los métodos de PHY síncrona está incluido en la señal física del código de línea, la información no depende de la carga de tráfico. Por el contrario, los métodos basados en paquetes están afectados por las características del tráfico, en particular si no están en vigor los esquemas de priorización de la calidad de servicio.
- 3) Los métodos de PHY síncrona son punto a punto. Cada uno de los nodos intermedios entre el PRC y el reloj de cliente que se están considerando tiene que formar parte del sistema de distribución de temporización para que no se rompan las cadenas de temporización. Los métodos basados en paquetes pueden atravesar nodos que no estén implicados en la distribución de temporización.
- 4) La tolerancia de entrada de un reloj de PHY síncrona se expresa en términos de "ruido de reloj" en la señal de referencia y se cuantifica utilizando los parámetros TDEV y MTIE. Las degradaciones de red que afectan a la calidad de un reloj basado en paquetes son la variación de la pérdida de paquetes y del retardo de paquetes (PDV) ambas provenientes de la capa física y del retardo de colas. Se están desarrollando las métricas pertinentes para cuantificar la variación del retardo de paquetes desde el punto de vista de la recuperación de reloj, incluidas TDEV y minTDEV. El MTIE no es un parámetro significativo para cuantificar la variación del retardo de paquetes desde el punto de vista de la recuperación de reloj, puesto que no se utilizan forzosamente todos los paquetes en los algoritmos de recuperación.

XII.4 Normas existentes

Las normas publicadas para la sincronización en redes de paquetes son NTP ([b-IETF RFC 5905], que sustituye a [b-IETF RFC 1305] (NTP v3) y [b-IETF RFC 4330] (SNTP)), y [b-IEEE 1588] (PTP).

NTP y PTP son protocolos generales para las redes de paquetes y no tratan directamente requisitos de telecomunicaciones. Se están desarrollando perfiles adecuados para proporcionar directrices para su desarrollo en aplicaciones de telecomunicaciones. [UIT-T Y.1731] utiliza indicaciones de tiempo para establecer algunos criterios de calidad de funcionamiento en redes Ethernet.

Es instructivo observar que [UIT-T Y.1731] utiliza exactamente los cuatro indicadores de tiempo que se describen aquí y los transporta en tramas de operación, administración y mantenimiento (OAM, *operations, administration, and maintenance*) entre los dos extremos de un enlace.

Apéndice XIII

Evaluación de la generación de la variación del retardo de paquetes en un nodo de red

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

XIII.1 Introducción

Este Apéndice proporciona directrices sobre la evaluación de la generación de la variación del retardo de paquetes (PDV, *packet delay variation*) en nodos de red cuando se utilizan métodos basados en paquetes sin soporte de temporización o con un soporte parcial de temporización desde la red. El tipo de pruebas descrito en este Apéndice se aplica a nodos que desconocen el PTP (es decir, nodos de red que no soportan relojes de frontera o relojes transparentes).

El ruido PDV es importante tanto para la sincronización de frecuencia y de fase como para la sincronización de tiempo. La asimetría es importante solo para la sincronización de fase o de tiempo pero no para la sincronización de frecuencia. Este Apéndice solo trata la sincronización de frecuencia. La evaluación y el análisis relativos a la sincronización de fase/tiempo queda en estudio y puede definirse en una Recomendación separada.

XIII.2 Consideraciones generales

El objeto de las pruebas PDV para un único nodo es determinar el efecto del nodo sobre la temporización de propagación de los paquetes de temporización y, por lo tanto, su efecto sobre la distribución de temporización basada en paquetes.

Cualquier característica permitida en un equipo como en un encaminador o un conmutador puede tener un efecto sobre la PDV. Se sugiere por lo tanto que se ensayen algunas de las configuraciones que representen planes de desarrollo.

Por ejemplo, si el equipo está pensado para ser utilizado como encaminador, durante las pruebas deberán encaminarse por el equipo los diferentes flujos de paquetes. Si el equipo está pensado para utilizarse como conmutador, entonces, durante las pruebas deberán conmutarse los diferentes flujos de paquetes. En algunos casos podrían considerarse escenarios mixtos (por ejemplo, conmutador/encaminador, donde la temporización de paquetes puede encaminarse y el tráfico de fondo conmutarse, o viceversa). Otras configuraciones podrían ser: QoS habilitada o no, encapsulado utilizado (por ejemplo, MPLS), lista de clientes aceptada.

XIII.3 Configuración general

Esta cláusula describe la configuración general a utilizar cuando se prueba la generación de PDV para un único nodo.

XIII.3.1 Descripción general de las pruebas de generación de PDV para un único nodo

Las pruebas de generación de PDV para un único nodo consisten en medir la PDV añadida a una señal de temporización de paquetes (como el flujo de temporización [b-IEEE 1588]) cuando es transportada por un único equipo de red. La señal de temporización de paquetes debe ser una señal ideal a la entrada del equipo de red (es decir, sin PDV antes de entrar en el nodo) y la PDV se debe medir directamente a la salida del equipo de red a fin de determinar la PDV generada por el nodo. Durante la prueba se introducen condiciones de esfuerzo aplicando, por ejemplo, tráfico de fondo en el nodo de red.

La Figura XIII.1 ilustra las pruebas de generación de PDV para un único nodo. La cláusula XIII.3 ofrece detalles de las pruebas genéricas que pueden ser de aplicación.

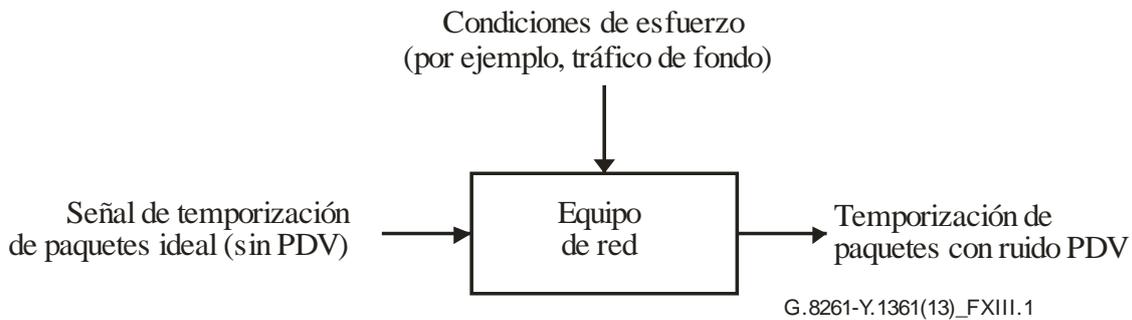


Figura XIII.1 – Configuración general para las pruebas de generación de PDV para un único nodo

NOTA 1 – Para generar una señal de temporización de paquetes ideal a la entrada del equipo de red, se puede conectar directamente al equipo de red en condiciones de esfuerzo un reloj maestro de paquetes (por ejemplo, un PTP maestro). Cabe destacar que el ruido PDV generado por el maestro debe ser muy bajo con el fin de poder considerar que la señal de temporización de paquetes de entrada está libre de ruido (por ejemplo, despreciable en comparación con el ruido medido).

NOTA 2 – La PDV de la señal de temporización de paquetes (por ejemplo, flujo de temporización PTP) se puede medir a la salida del equipo de red utilizando una sonda PDV para determinar la PDV generada por el equipo de red.

NOTA 3 – Para establecer la comunicación de protocolo de temporización (por ejemplo, comunicación PTP), se puede conectar un reloj subordinado de paquetes (por ejemplo, PTP subordinado) al equipo de red después de la sonda PDV (sin embargo, hay que destacar que el objetivo no es medir las características de funcionamiento a la salida del reloj subordinado, sino únicamente la PDV generada por el equipo).

Quedan en estudio los detalles sobre las diferentes configuraciones posibles (por ejemplo, flujo de temporización de paquetes y configuración del tráfico de fondo) y las pruebas genéricas.

Bibliografía

- [b-UIT-T G.701] Recomendación UIT-T G.701 (1993), Vocabulario de términos relativos a la transmisión y multiplexación digitales y a la modulación por impulsos codificados.
- [b-UIT-T G.707] Recomendación UIT-T G.707/Y.1322 (2000), Interfaz de nodo de red para la jerarquía digital síncrona.
- [b-UIT-T G.783] Recomendación UIT-T G.783 (2004), Características de los bloques funcionales del equipo de la jerarquía digital síncrona.
- [b-UIT-T G.801] Recomendación UIT-T G.801 (1988), Modelos de transmisión digital.
- [b-UIT-T G.810] Recomendación UIT-T G.810 (1996), Definiciones y terminología para redes de sincronización.
- [b-UIT-T G.1020] Recomendación UIT-T G.1020 (2006), Definición de parámetros de calidad de funcionamiento para aplicaciones de voz y otras aplicaciones en la banda vocal que utilizan redes del protocolo Internet.
- [b-UIT-T I.363.1] Recomendación UIT-T I.363.1 (1996), Especificación de la capa de adaptación del modo de transferencia asíncrono de la RDSI-BA: Capa de adaptación del modo transferencia asíncrono tipo 1.
- [b-UIT-T T.4] Recomendación UIT-T T.4 (2003), Normalización de los terminales facsímil del grupo 3 para la transmisión de documentos.
- [b-UIT-T V.90] Recomendación UIT-T V.90 (1998), Par constituido por un módem digital y un módem analógico para uso en la red telefónica pública conmutada (RTPC) a velocidades de señalización de datos de hasta 56 000 bit/s en sentido descendente y hasta 33 600 bit/s en sentido ascendente.
- [b-UIT-T Y.1560] Recomendación UIT-T Y.1560 (2003), Parámetros de calidad de funcionamiento de conexiones con protocolo de control de transmisión en presencia de dispositivos intermedios.
- [b-ETSI TR 101 685] ETSI TR 101 685 (en vigor), Transmission and multiplexing (TM); Timing and synchronization aspects of Asynchronous Transfer Mode (ATM) networks.<http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=7595>
- [b-ETSI TS 100 594] ETSI TS 100 594 (1999), Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Base Station Controller – Base Transceiver Station – (BSC – BTS) interface; Layer 1 Structure of Physical Circuits.
<http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=8606>
- [b-ETSI TS 125 104] ETSI TS 125 104 (en vigor), Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Base Station (BS); radio transmission and reception (FDD).<http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=28301>
- [b-ETSI TS 125 105] ETSI TS 125 105 (en vigor), Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), Base Station (BS); radio transmission and reception (TDD).<http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=28303>
- [b-ETSI TS 125 402] ETSI TS 125 402 (en vigor), Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Synchronization in UTRAN Stage 2.
<http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=22972>

- [b-ETSI TS 125 431] ETSI TS 125 431 (en vigor), Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); UTRAN Iub Interface Layer 1.
<http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=24642>
- [b-ETSI TS 145 010] ETSI TS 145 010 (en vigor), Digital cellular telecommunications systems (Phase 2+), Radio subsystem synchronization.
<http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=19334>
- [b-IEEE 802.1ah] IEEE 802.1ah-2008, IEEE Standard for local and metropolitan area network – Virtual Bridged Local Area Networks – Amendment 7: Provider Backbone bridges.<<http://www.ieee802.org/1/pages/802.1ah.html>>
- [b-IEEE 802.1p] IEEE 802.1p-2005, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Traffic Class Expediting and Dynamic Multicast Filtering.
- [b-IEEE P802.1Qay] IEEE P802.1Qay-REV-2007, Draft Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Virtual Bridged Local Area Networks: Amendment Provider Backbone Bridge Traffic Engineering.
<<http://www.ieee802.org/1/pages/802.1ay.html>>
- [b-IEEE 802.3x] IEEE 802.3x-1997, IEEE Standards for Local and Metropolitan Area Networks: Supplements to Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications – Specification for 802.3 Full Duplex Operation and Physical Layer Specification for 100 Mb/s Operation on Two Pairs of Category 3 or Better Balanced Twisted Pair Cable. <<http://standards.ieee.org/getieee802/802.3.html>>
- [b-IEEE 1588] IEEE 1588 STD -2008, Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems
<<http://ieee1588.nist.gov/>>
- [b-IETF RFC 1305] IETF RFC 1305 (1992), Network Time Protocol (Version 3) – Specification, Implementation, and Analysis.
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc1305.txt?number=1305>>
- [b-IETF RFC 4330] IETF RFC 4330 (2006), Simple Network Time Protocol (SNTP) Version 4 for IPv4, IPv6 and OSI.
- [b-IETF RFC 5905] IETF RFC 5905 (2010), Network Time Protocol Version 4: Protocol And Algorithms Specification.<<http://www.ietf.org/rfc/rfc5905.txt?number=59055905>>
- [b-3GPP2 C.S0010-B] 3GPP2 C.S0010-B (en vigor), Recommended Minimum Performance Standards for cdma2000 Spread Spectrum Base Stations.
<http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/C.S0010-B_v2.0_021704.pdf>
- [b-3GPP2 C.S0002-C] 3GPP2 C.S0002-C (2002), Physical layer standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems.<http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/C.S0002-C_v1.0.pdf>
- [b-3GPP TR 25.836] 3GPP TR 25.836 (2001), Node B synchronization for TDD.
<http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/TSG_RAN/TSGR_09/Docs/PDFs/RP-000406.pdf>
- [b-MEF 3] MEF 3 (2004), Circuit Emulation Service Definitions, Framework and Requirements in Metro Ethernet Networks.
<http://metroethernetforum.org/Assets/Technical_Specifications/PDF/MEF3.pdf>

RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE Y
**INFRAESTRUCTURA MUNDIAL DE LA INFORMACIÓN, ASPECTOS DEL PROTOCOLO
INTERNET Y REDES DE LA PRÓXIMA GENERACIÓN**

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

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 generales de tarificación
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	Terminales y métodos de evaluación subjetivos y objetivos
Serie Q	Conmutación y señalización
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 y redes de la próxima generación
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación