

Formación Profesional en CePETel 2023

Desde la Secretaría Técnica del Sindicato CePETel convocamos a participar del siguiente curso de formación profesional:

Sincronismo de frecuencia, fase y tiempo para redes 5 G.

Clases: 4 de 3hs c/u de 18:30 a 21:30 hs.

Días que se cursa: los días miércoles 21, y 28 de junio; 5 y 12 de julio.

Modalidad: a distancia (requiere conectarse a la plataforma Zoom en los días y horarios indicados precedentemente).

Docente: Daniel Torradadella

La capacitación es:

- Sin cargo para afiliados y su grupo familiar directo.
- Sin cargo para encuadrados con convenio CePETel.
- Con cargo al universo no contemplado en los anteriores.

Informes: enviar correo a tecnico@cepotel.org.ar

Inscripción (hasta el 15 de junio): ingresar al formulario (se recomienda realizar el registro por medio de una cuenta de correo personal y **no utilizar dispositivos de la empresa para acceder al link**).

<https://forms.gle/FFNEMLuVxZyHyQe7A>

Temario:

- Repaso de conceptos (asincrónico, sincrónico de frecuencia, fase y tiempo).
- Servicios afectados con sincronismo de frecuencia.
- Redes de sincronismo de frecuencia. Jerarquía.
- Tipo de relojes de sincronismo de frecuencia.
- Transporte de calidad de sincronismo frecuencia y priorización.
- Métodos de Transporte de sincronismo de frecuencia y calidad. Redes síncronas y de paquetes
- Arquitecturas de redes de transporte de sincronismo de frecuencia.
- Servicios afectados con sincronismo de Tiempo y Fase
- Fase y tiempo absoluta y relativa
- Tipo de Redes de sincronismo de fase / tiempo.
- Métodos de Transporte de sincronismo de fase y calidad
- Arquitecturas de redes de transporte de sincronismo de fase y tiempo.
- Time Budget

Ing. Daniel Herrero – Secretario Técnico – CDC

Acerca del docente

Daniel O. Torrabadella, es Ingeniero Electrónico egresado de la Universidad Tecnológica Nacional – FRBA en año 1992, con postgrado en Gestión de las Telecomunicaciones en la Universidad de San Andrés en el año 2000.

Se desarrolló en temas relacionados a la transmisión, comenzando con sistemas radioeléctricos en los inicios para después abocarse al diseño de redes ópticas y pruebas en laboratorio, primero en sistemas SDH, luego en sistema WDM y por último en el desarrollo de Redes Ópticas Nacionales de alta capacidad con restauraciones ópticas automáticas a 100Gb/s.

Actualmente se desempeña en Dirección de Arquitectura de Redes y Servicios en Telecom Argentina como experto en arquitectura de redes ópticas.

Durante el 2019 dictó para el Sindicato CePETel el curso de Comunicaciones Ópticas. En el año 2021 dictó para nuestro sindicato la parte 1 Comunicaciones Ópticas Sistemas de un Canal de Información y en año 2022 dictó Comunicaciones Ópticas Digitales Parte 2: Sistemas Ópticos de Varios Canales de Información (WDM).

Ing. Daniel Herrero – Secretario Técnico – CDC



Curso de Sincronismo de Frecuencia, Fase y Tiempo

Clase N°1

Ing. Daniel Torrabadella
daniel.torrabadella@gmail.com

Curso de Sincronismo de Frecuencia, Fase y Tiempo

- ✓ Módulo 1: Tipos de Sincronismo y como afectan a los servicios.
- ✓ Módulo 2: Sincronismo de Frecuencia por flanco de señal.
- ✓ Módulo 3; Sincronismo en redes de paquetes.
- ✓ Módulo 4: Sincronismo de Frecuencia en redes de paquetes.
- ✓ Módulo 5: Sincronismo de fase y tiempo.

Módulo 1

Tipos de sincronismo y como afectan a los servicios

Diferencias entre
sincronismo de
Frecuencia, Fase
y Tiempo

Servicios
afectados por
Sincronismo

Diagrama General



Sincronismo y Red de Transporte

Parámetros de Reloj



Reloj de Sincronismo
(patrón)

Degradación de Parámetros

Degradación

Parámetros
Entregados



Parámetros
Tolerables



Servicios

Red de Transporte - Servicio

PSTN



Móvil



CePETel

Sindicato de los Profesionales
de las Telecomunicaciones

SECRETARÍA TÉCNICA

Junio 2023

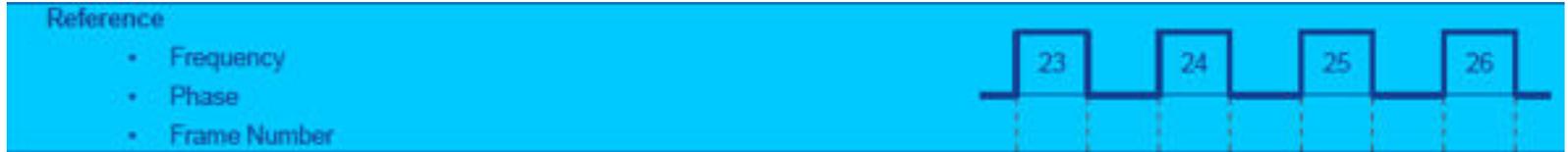


Instituto Profesional de
Estudios e Investigación



DOTCOM
FORMACIÓN

Tipos de sincronismo



Este reloj es el patrón de referencia que podrá ser:

- **Frecuencia:** Dado por el período de la señal.
- **Fase:** Dado por el flanco de la señal.
- **Tiempo:** Dado por el valor numérico de frame indicado (UTC).

Red de Transporte Asíncrona



- Red Asíncrona:

Una red es “asíncrona” cuando no presenta ninguna concordancia en el servicio final, respecto a las referencias de sincronías enunciados anteriormente.

Red de Transporte Síncrona en Frecuencia



- Red Síncrona en Frecuencia:

Una red es “síncrona en frecuencia” cuando el periodo de la señal de referencia es “transportado” en la red de telecomunicaciones como se muestra en la figura, entregándole al servicio final, un periodo de señal de sincronismo acorde a la referencia.

Red de Transporte Síncrona en Fase



- Red Síncrona en Fase:

Una red es “sincrónica en fase” (y como consecuencia también en frecuencia) cuando los flancos de subida y bajada de la señal de referencia son “transportados” en la red de telecomunicaciones como se muestra en la figura, entregándosela al servicio final.

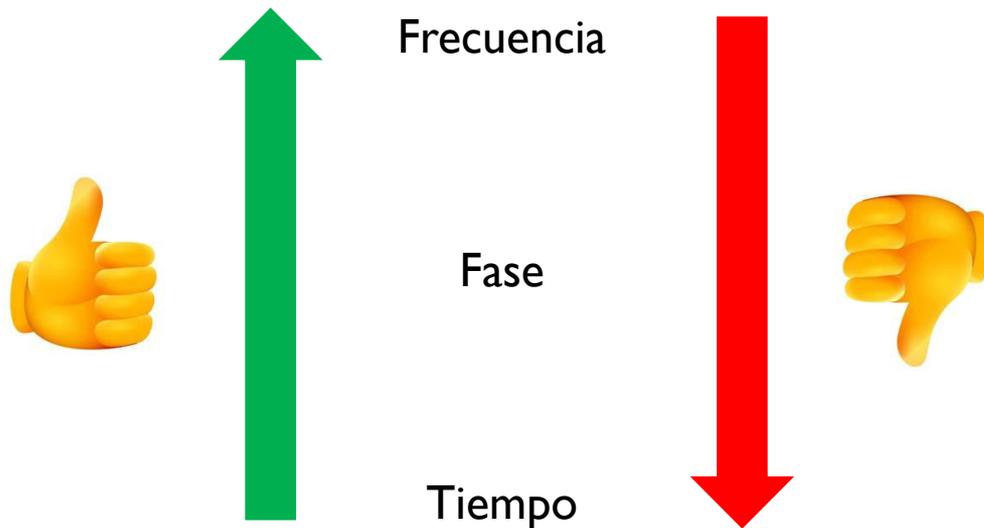
Red de Transporte Síncrona en Tiempo



- Red Síncrona en Tiempo:

Una red es “sincrónica en tiempo” (y como consecuencia también en frecuencia y fase) cuando la señal UTC de referencia es “transportada” en la red de telecomunicaciones como se muestra en la figura, entregándosela al servicio final.

Relación Frecuencia, Fase y Tiempo



Módulo 1

Tipos de sincronismo y como afectan a los servicios

Diferencias entre
sincronismo de
Frecuencia, Fase
y Tiempo

Servicios
afectados por
Sincronismo

Sincronismo – Servicio PSTN



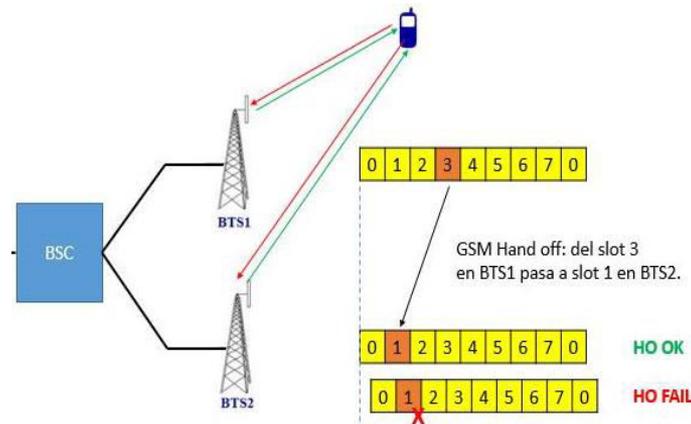
Si bien hoy la PSTN (conmutación de circuitos) está en desuso, fue la primera red en necesitar sincronismo de frecuencia donde las centrales basadas en conmutación de circuitos (Core) se sincronizaban mediante los E1 y el transporte también estaba basado en circuitos.

La desincronización de la red provoca problemas de señalización entre centrales y consecuencia caídas en establecimiento de llamadas.

Sincronismo – Servicio Móvil 2G, 3G, 4G.

En sus inicios (2G, 3G), la red Móvil también estaba basada en la conmutación de circuitos, y presenta los mismos requerimientos de sincronismo que la PSTN.

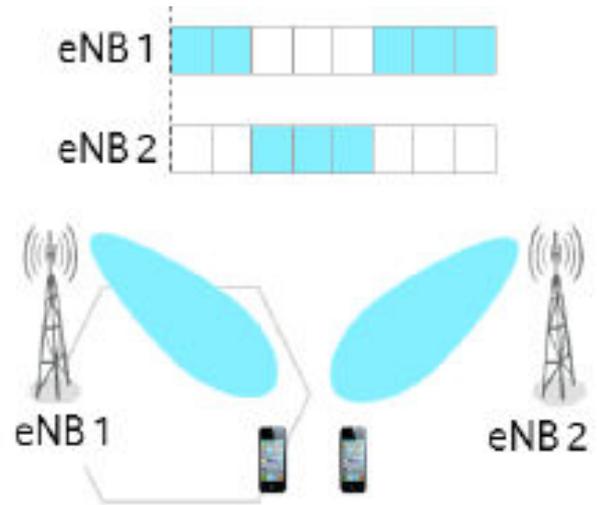
Adicionalmente, en el acceso necesita el sincronismo de frecuencia para alineamiento de la trama de aire que permite la funcionalidad de Hand off entre celdas. La desincronización de la red en el acceso provoca la caída de llamadas en curso cuando un terminal en movimiento cambia de una celda a la otra.



Sincronismo – Servicio Móvil 4G (LTE Advance), 5G

Nuevas funcionalidades en la red de acceso (LTE advance y 5G) como Carrier Agregation, las RBS adyacentes en la red de acceso necesitan, además de sincronizarse en frecuencia, necesitan Sincronismo de Fase.

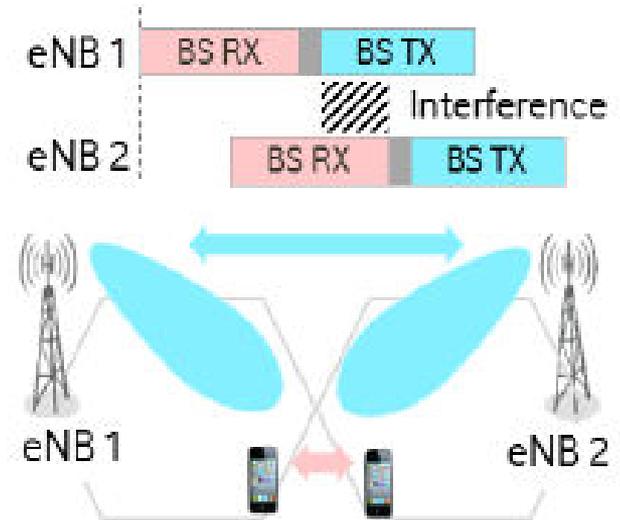
En este caso la desincronización de fase hace perder las funcionalidades de LTE para la cual fue desplegada



Sincronismo – Servicio Móvil 5G (Radio TDD).

En tecnología 5G existen bandas exclusivas para técnicas TDD de radio en el acceso donde es necesario tener sincronismo de Tiempo para evitar interferencia entre uplink y downlink.

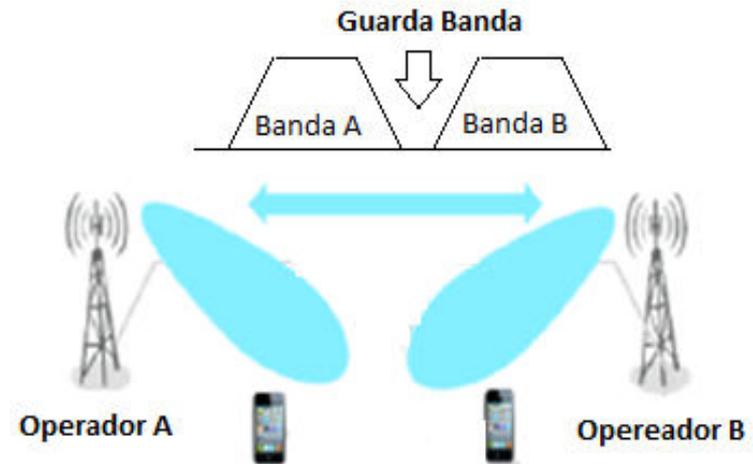
Como mecanismo de protección para no interferir al resto de las celdas, ante ausencia de sincronismo de fase, la RBS baja su emisión de RF reduciendo la cobertura del servicio.



Sincronismo – Radio TDD (5G) entre operadores.

En técnicas TDD de radio, entre bandas de distintos operadores, puede reducirse el guarda banda entre ambos si se utiliza Sincronismo de Tiempo en ambos operadores.

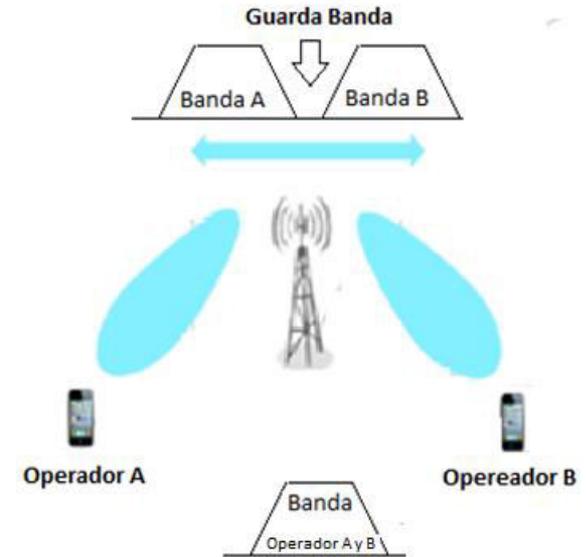
No utilizar sincronismo de Tiempo, debe aumentarse el guarda banda entre ambos con reducción de optimización del espectro de RF.



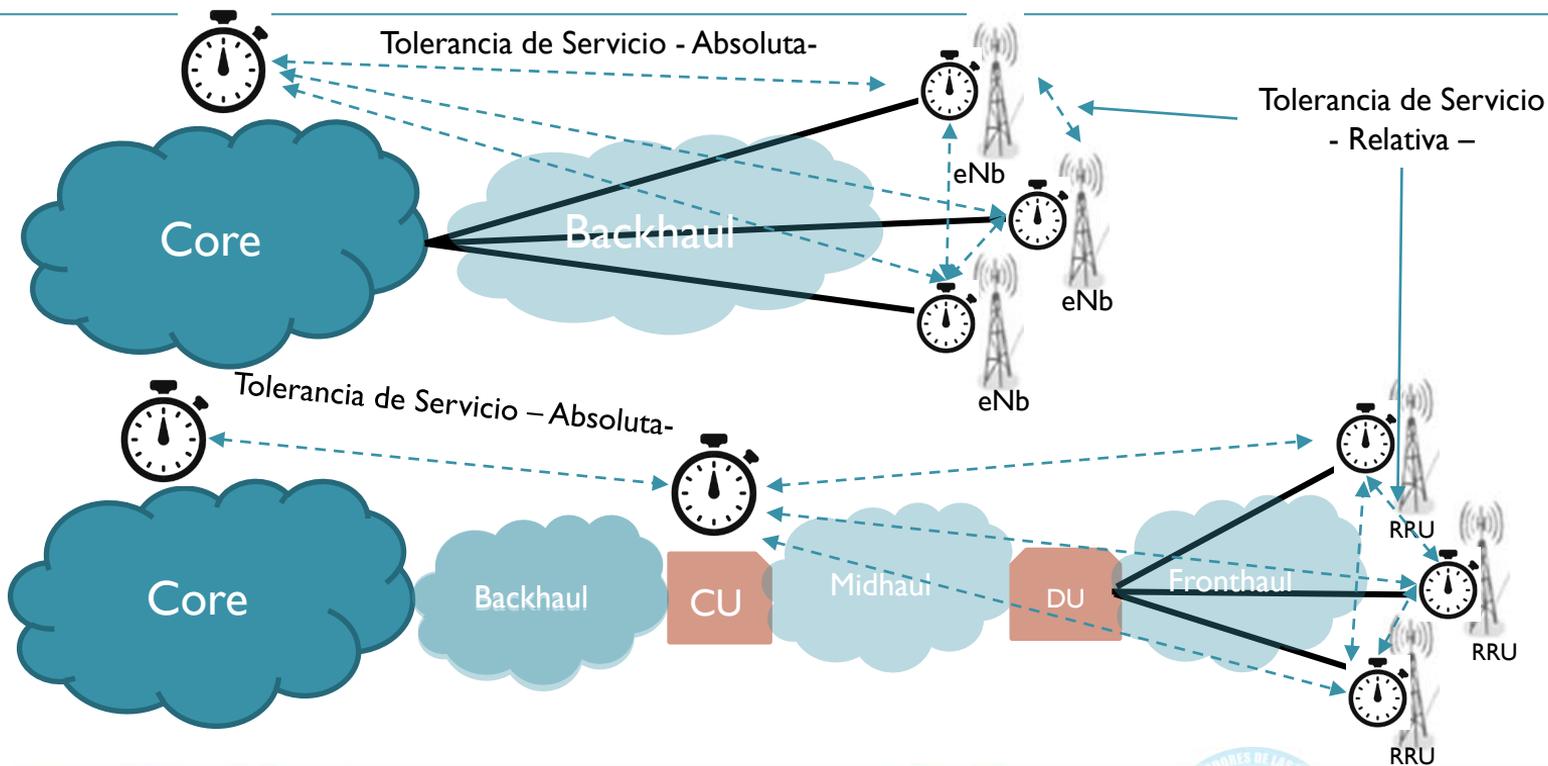
Sincronismo – Radio TDD (5G) RAN Sharing

En 5G esta previsto compartir la infraestructura de acceso como se muestra en la figura:

- a) **RAN Sharing activo:** en este tipo de RAN Sharing, los operadores comparten la infraestructura pero cada operador utiliza su espectro asignado.
- b) **RAN Sharing de espectro:** en este tipo de RAN Sharing, los operadores comparten la misma Infraestructura y espectro de uno de ellos.



Sincronismo – Tolerancia relativa y absoluta 5G (3GPP)





BREAK !!!

Módulo 2

Sincronismo de Frecuencia por Flanco de Señal

Parámetros y Estructura Jerárquica

Tipo de Relojes y sus Características

Transporte, Calidad y Distribución

Parámetros de Sincronismo de Frecuencia

Cuando hablamos de sincronismo de frecuencia y su red de transporte, de acuerdo a la época del desarrollo tecnológicos, debemos diferenciar los dos modelos que fueron estandarizados:

- a) Las primeras desarrolladas a partir del flanco de la señal TDM binaria nacidas en la era PDH/SDH (*).
- b) Las últimas a partir de paquetes de información como se verá en otro módulo más adelante.

(* Sin embargo, las primeras (PDH / SDH) han migrado también a interfaces más modernas como SyncEth usando el mismo mecanismo de flanco de señal que resultan de importancia cuando veamos más adelante sincronismo de Fase y Tiempo.

Parámetros de Sincronismo de Frecuencia

- **Parámetros de sincronismo basados en flanco de señal.**

Hay tres parámetros que definen la red de sincronismo de frecuencia son

- a) **Exactitud**: Se mide en ppm (partes por millón) o ppb (partes por billón), respecto a una frecuencia patrón.
- b) **Fluctuación de fase rápida**: Se mide Ulpp (Unidades de intervalo del tiempo pico a pico) y es conocida como Jitter
- c) **Fluctuación de fase lenta**: Se mide a través de una máscara de MTIE o TDEV y es conocida como Wander

Estos parámetros están definidos tanto para los relojes, la red de transporte y lo tolerado por los servicios.

Parámetros de Sincronismo de Frecuencia

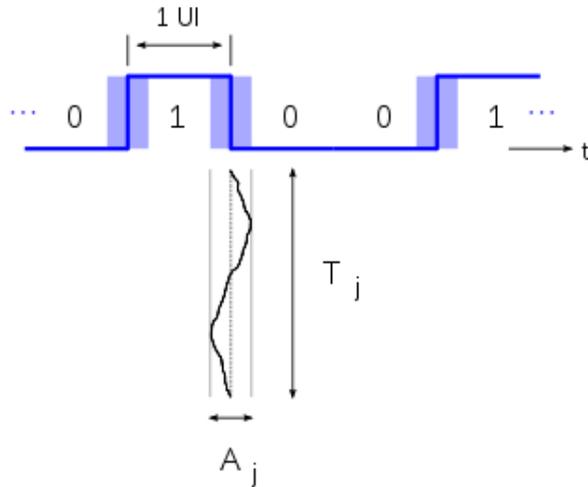
- Exactitud.

$$\text{Exactitud [ppm]} = \frac{\Delta \text{frec [Hz]}}{\text{Frec. Abs [Hz]}} \times 10^6$$

$$\text{Exactitud [ppb]} = \frac{\Delta \text{frec [Hz]}}{\text{Frec. Abs [Hz]}} \times 10^9$$

Parámetros de Sincronismo de Frecuencia

- Fluctuación de fase rápida (Jitter).



$$Jitter [UI_{pp}] = A_j @ 1UI$$

La amplitud de A_j se expresa como Jitter temporal pico a pico y relativo a la unidad de intervalo (1 UI) de la señal de información.

El estándar establece distintos valores máximos acorde a filtros pasabanda de periodos T_j (fj)

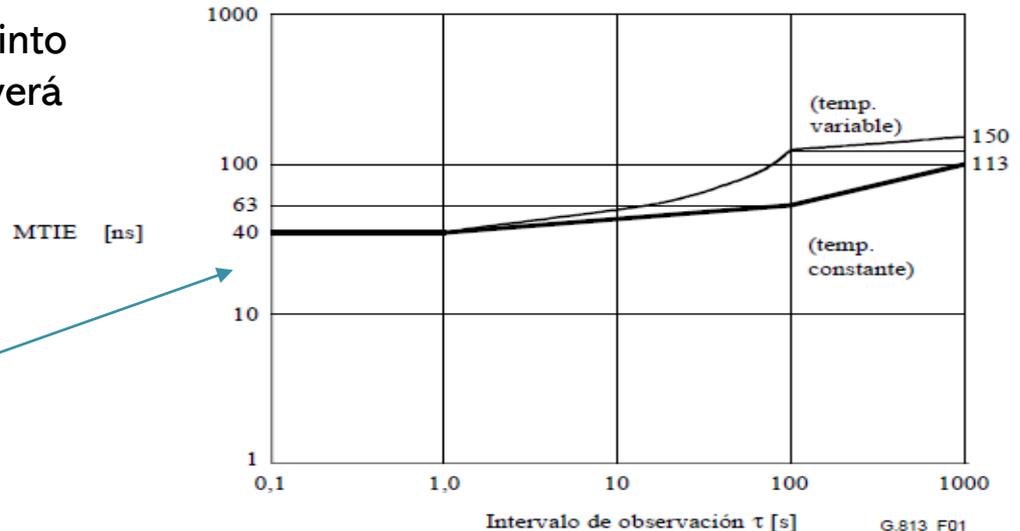
Parámetros de Sincronismo de Frecuencia

- **Fluctuación de fase lenta (Wander).**

La máscara de MTIE (Maximum Time Interval Error) establece el máximo valor de error de fase, en una ventana de tiempo, respecto a una frecuencia patrón.

El estándar fija un MTIE distinto para tipo de reloj como se verá más adelante.

Ejemplo para reloj G.813



Parámetros de Sincronismo de Frecuencia

Tolerancia de Sincronismo para Servicios Fijo y Móvil TDM.

Se listan a continuación los parámetros y valores máximos de las señales de sincronismo. De superarse estos valores se comprometen las funcionalidades del servicio.

Exactitud: 50 ppb

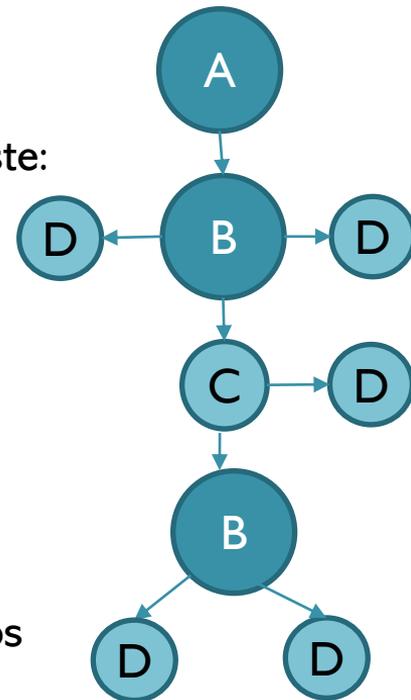
Tipo de Interfaz: Señal eléctrica cuadrada 2048 KHz acorde a ITU-T G.703 / G.823
Señal binaria HDB3 2048 Kb/s acorde a ITU-T G.703 / G.823
Señal óptica STM-N (SDH) acorde a ITU-T G.783
Señal óptica SyncEth acorde a G.8262 o G.8262.1

Jerarquía de Sincronismo de Frecuencia

- **Estructura Jerárquica.**

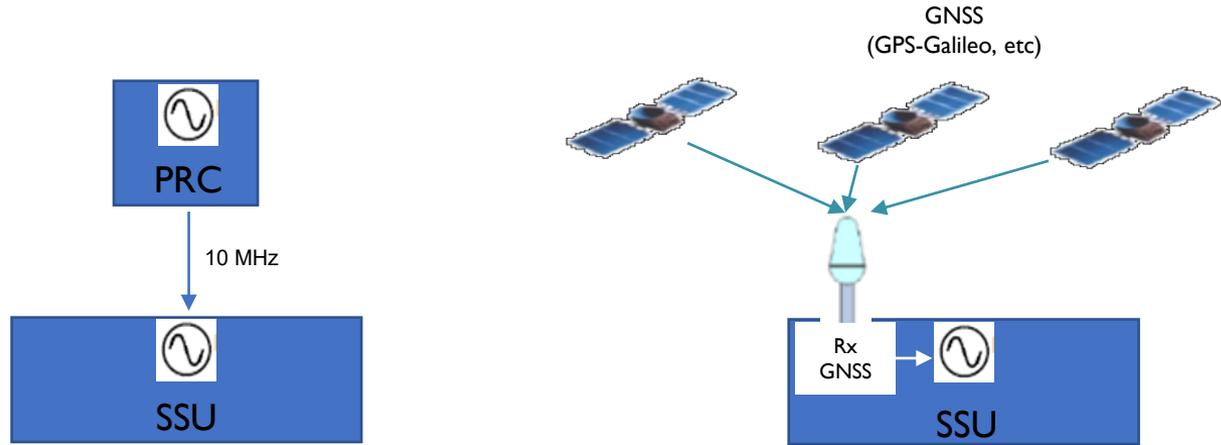
La red de sincronismo tiene una estructura jerárquica donde existe:

- Un reloj patrón - PRC (A)
- Relojes de Distribución - SSU (B)
 - Filtrar el ruido y regenerar la señal.
 - Distribuir el sincronismo a los relojes esclavos
- Equipo de Transporte que tiene reloj – SEC, EEC (C)
 - Filtrar el ruido y regenerar la señal.
 - Entregar sincronismo a Relojes de Distribución / Esclavos
- Equipo de Servicio que tiene reloj esclavo – (D):



Arquitectura de Sincronismo de Frecuencia

Arquitectura concentrada y distribuida de PRC.



Módulo 2

Sincronismo de Frecuencia por Flanco de Señal

Parámetros y
Estructura
Jerárquica

Tipo de Relojes y
sus
Características

Transporte,
Calidad y
Distribución

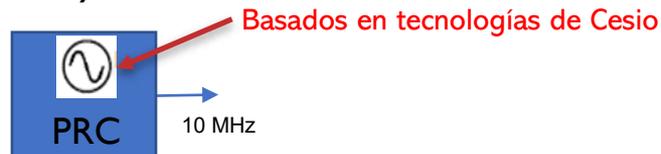
Tipo de Relojes de Sincronismo de Frecuencia por Flanco de Señal

- Relojes de Sincronismo de frecuencia.

La red de sincronismo tiene una arquitectura jerárquica donde existen diferentes tipos de relojes desplegados en la red, con la idea de llegar hasta el último eslabón del servicio con una calidad de señal de sincronismo a lo sumo igual a lo tolerado por el servicio.

- ✓ *PRC (Primary Reference Clock) – Rec. ITU-T G.811-*

En esa escala jerárquica, el PRC (Primary Reference Clock) ocupa el lugar más alto y no es reloj subordinable (es la unidad patrón).



Tipo de Relojes de Sincronismo de Frecuencia por Flanco de Señal - PRC

Es el reloj patrón de frecuencia, confeccionado en tecnología de Cesio y sus parámetros fijados en Rec. ITU-T G.811 / G.811.1 (enhanced):

Exactitud: 0,01 / 0,001 ppb en su vida útil.

Generación de Ruido

Fluctuación de fase rápida.

Fluctuación de fase lenta.

Tipo de Interfaz: Señal cuadrada 10 MHz acorde a ITU-T G.703

Este reloj patrón será de utilidad para sincronizar relojes de menor jerarquía a través de su única interfaz de 10 MHz.

Tipo de Relojes de Sincronismo de Frecuencia por Flanco de Señal - SSU

✓ Reloj SSU (Rec ITU-T G.812).

Basados en tecnologías de Rubidio o Cuarzo (Tipo I, II, etc)

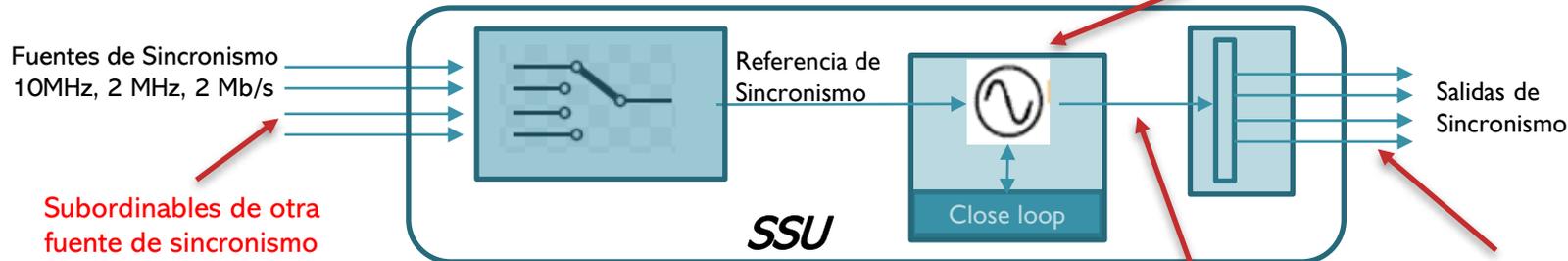
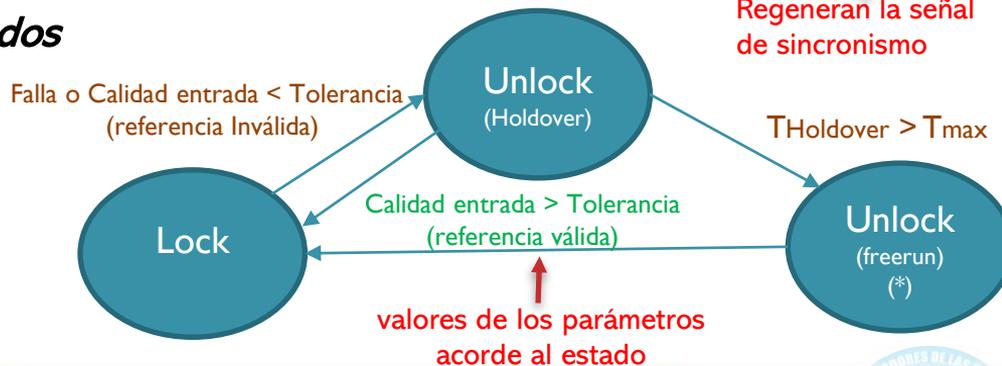


Diagrama de estados



(*) Estado de arranque

Tipo de Relojes de Sincronismo de Frecuencia por Flanco de Señal - SSU

Tipo: I, II, III, IV, V, VI

Exactitud Locked: Acorde a reloj jerarquía superior

Exactitud Holdover: 16 ppb / 4,6 ppm en un año (de acuerdo al tipo)

Generación de Ruido (salidas)

Fluctuación de fase rápida.

Fluctuación de fase lenta (Locked – Unlocked).

Tolerancia de Ruido (entradas).

Gama de enganche, retención y desenganche.

Fluctuación de fase rápida.

Fluctuación de fase lenta.

Tipo de Interfaz: Señal 2048 KHz / 10 MHz / 2048 Kb/s acorde a ITU-T G.703

Tipo de Relojes de Sincronismo de Frecuencia por Flanco de Señal - SEC

✓ Reloj de Equipo SDH - SEC (Rec ITU-T G.813).

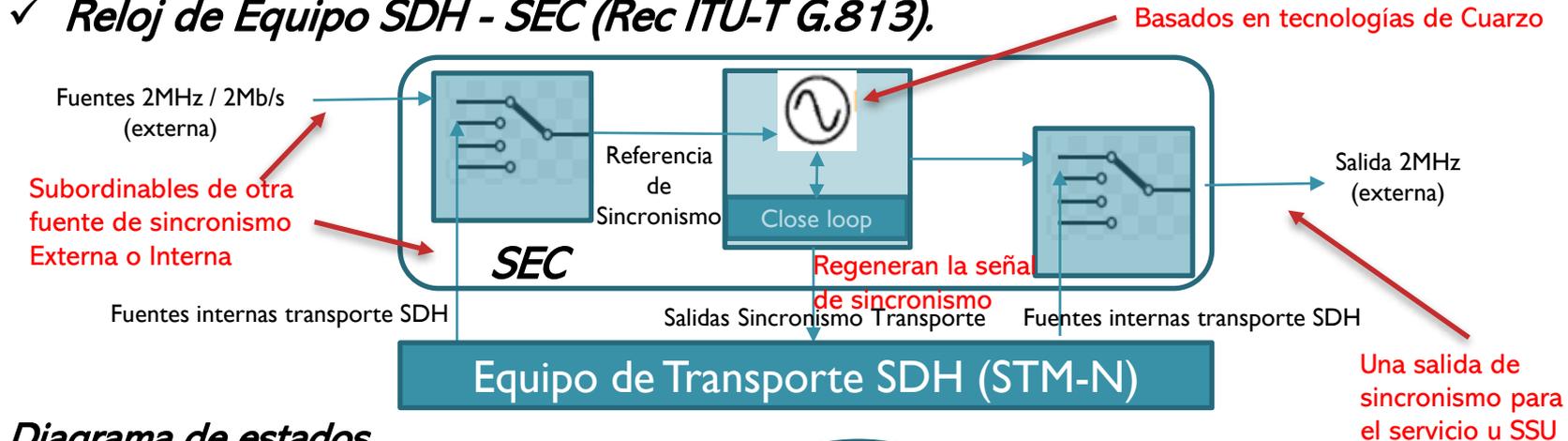


Diagrama de estados



Tipo de Relojes de Sincronismo de Frecuencia por Flanco de Señal - SEC

Exactitud Locked: Acorde a reloj jerarquía superior

Exactitud Holdover: +/-4,6 ppm en un mes

Generación de Ruido (salidas)

Fluctuación de fase rápida.

Fluctuación de fase lenta (Locked – Unlocked).

Tolerancia de Ruido (entradas)

Gama de enganche, retención y desenganche.

Fluctuación de fase rápida.

Fluctuación de fase lenta.

Tipo de Interfaz: Señal cuadrada 2048 KHz o 2048 Kb/s acorde a ITU-T G.703
Señal óptica STM-N (SDH) acorde a ITU-T G.783

Tipo de Relojes de Sincronismo de Frecuencia por Flanco de Señal - EEC

Relojes de Equipo de Transporte por Paquetes (EEC / eEEC).

Los equipos de transporte de paquetes nacieron bajo el estándar IEEE 802.3 y desde sus inicios fueron asincrónicos por su naturaleza.

Cada interfaz tiene un reloj que no se subordina a ninguna otra fuente y tiene una exactitud de +/-100 ppm.

Con la migración de servicios a redes de paquetes, se estandariza el Synchronous Ethernet (SyncEth) con el objeto de adecuar estas tecnologías para el transporte de servicios que requieren sincronismo cuyos parámetros máximos están cubiertos por la Rec. ITU-T G.8262 o G.8262.1 (enhanced).

Con estas nuevas interfaces sincrónicas y, para asegurar retrocompatibilidad, se puede deshabilitar la funcionalidad de sincronismo.

Basados en tecnologías de Cuarzo, dispone características iguales a los SEC pero incorporan el SyncEth como fuente de sincronismo (Rec. ITU-T G.781)

Tipo de Relojes de Sincronismo de Frecuencia por Flanco de Señal - EEC

✓ Reloj EEC / eEEC (Rec ITU-T G.8262/1).

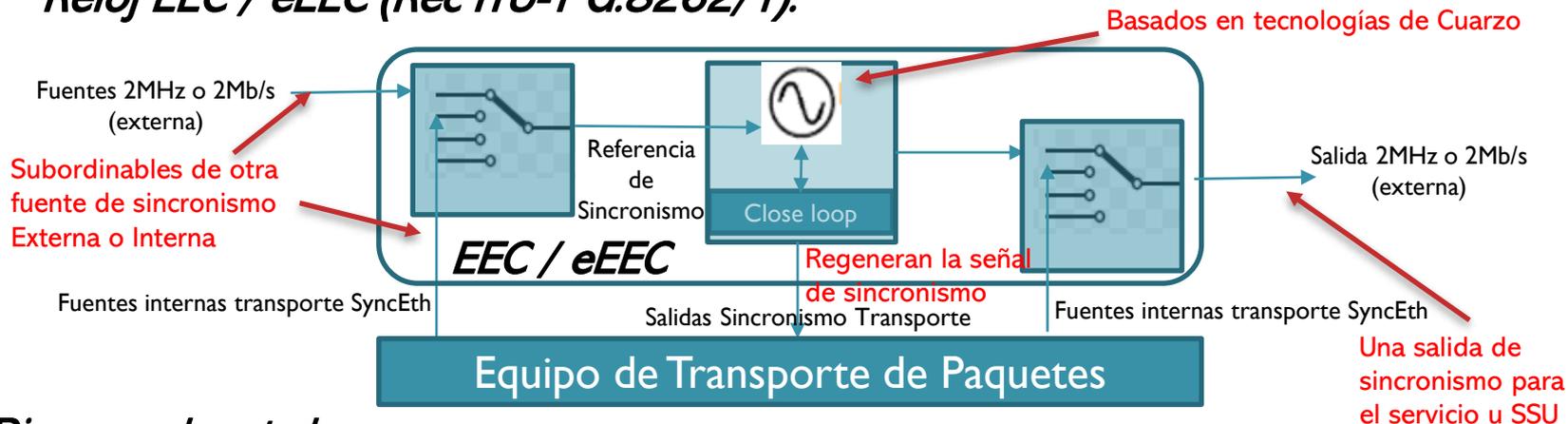
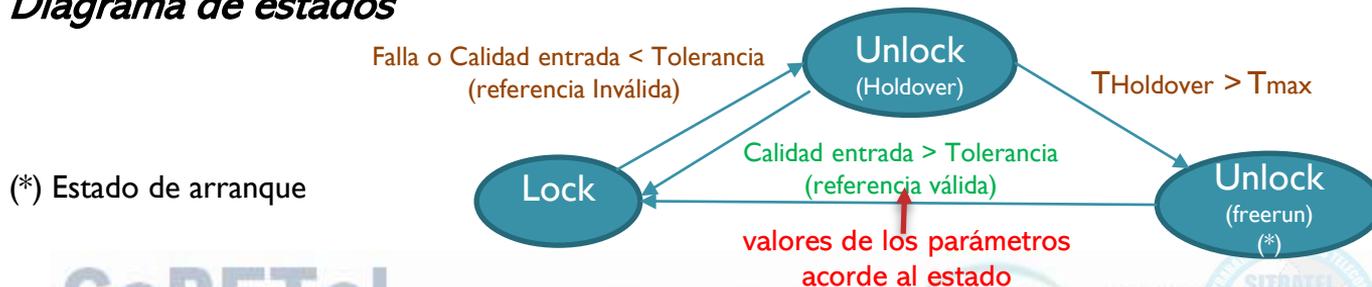


Diagrama de estados



(*) Estado de arranque

Tipo de Relojes de Sincronismo de Frecuencia por Flanco de Señal - Esclavo

✓ Reloj Esclavo.

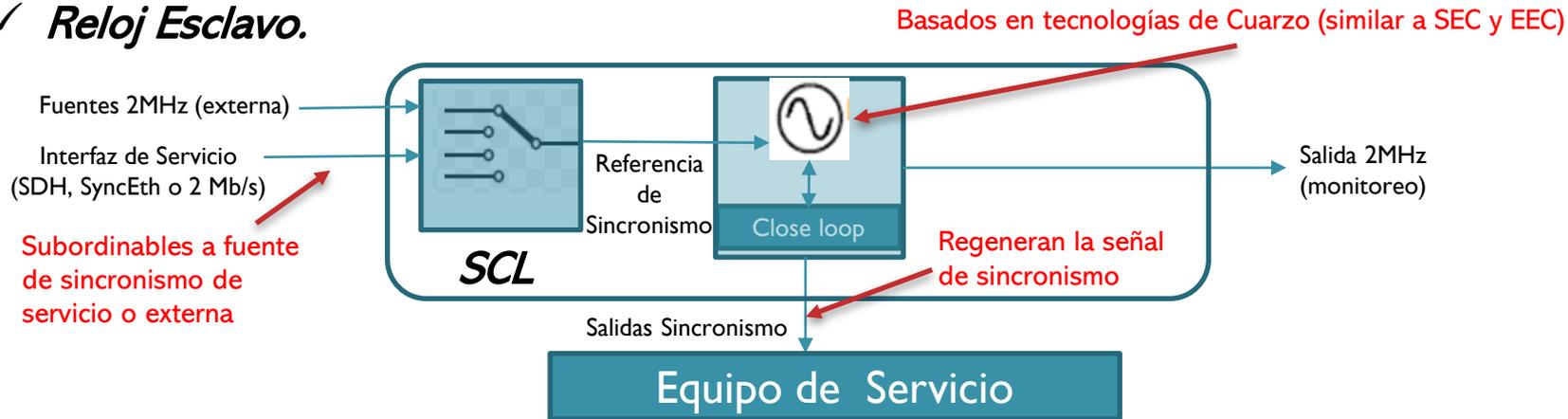


Diagrama de estados



(*) Estado de arranque



Fin Clase N°1

Ing. Daniel Torradella
daniel.torradella@gmail.com



Curso de Sincronismo de Frecuencia, Fase y Tiempo

Clase N°2

Ing. Daniel Torrabadella
daniel.torrabadella@gmail.com

Curso de Sincronismo de Frecuencia, Fase y Tiempo

- ✓ Módulo 1: Tipos de Sincronismo y como afectan a los servicios.
- ✓ Módulo 2: Sincronismo de Frecuencia por flanco de señal.
- ✓ Módulo 3; Sincronismo en redes de paquetes.
- ✓ Módulo 4: Sincronismo de Frecuencia en redes de paquetes.
- ✓ Módulo 5: Sincronismo de fase y tiempo.

Módulo 2

Sincronismo de Frecuencia por Flanco de Señal

Parámetros y
Estructura
Jerárquica

Tipo de Relojes y
sus
Características

Transporte,
Calidad y
Distribución

Transporte y Calidad de Sincronismo de Frecuencia por Flanco de Señal

Transporte , Distribución y señalización de Calidad de sincronismo.

Si bien la señal de sincronismo se transporta por la misma señal a partir del flanco de una red STM-N o SyncEth, la interfaz puede “informar” al extremo distante la calidad de la misma por los bytes S1-S2 - SSM (STM-N) o los frames ESMC (SyncEth).

El orden de Calidad de este “Timing Marker” es fijado en la Rec. ITU-T G.781.

Se usa para dos objetivos:

- a) *Protecciones de caminos de sincronismo (evita Timing loop).*
- b) *Selección de fuentes de sincronismo.*

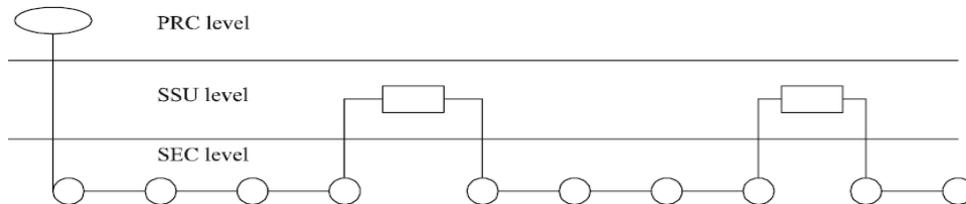
Quality level	Order
QL-ePRTC	Highest *
QL-PRTC	*
QL-PRC	
QL-SSU-A	
QL-SSU-B	
QL-eEEC	
QL-SEC	
QL-DNU	
QL-INVx, QL-FAILED, QL-UNC, QL-NSUPP	Lowest

(*) Tipo de relojes que se verán mas adelante

Transporte y Calidad de Sincronismo de Frecuencia por Flanco de Señal

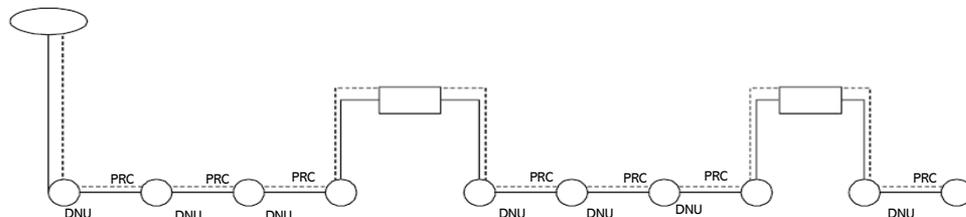
Protección de Caminos

Jerarquía

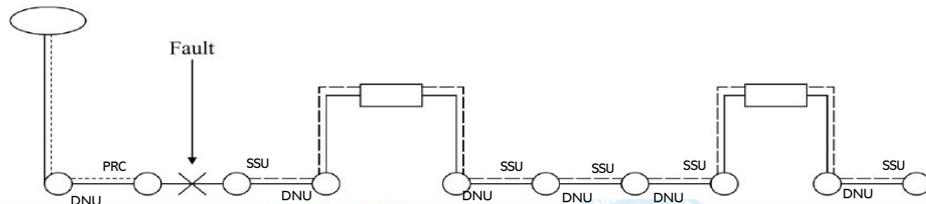


.....

Circulación info sincronismo calidad PRC
(DNU evita Timing Loop)



Circulación info sincronismo calidad SSU



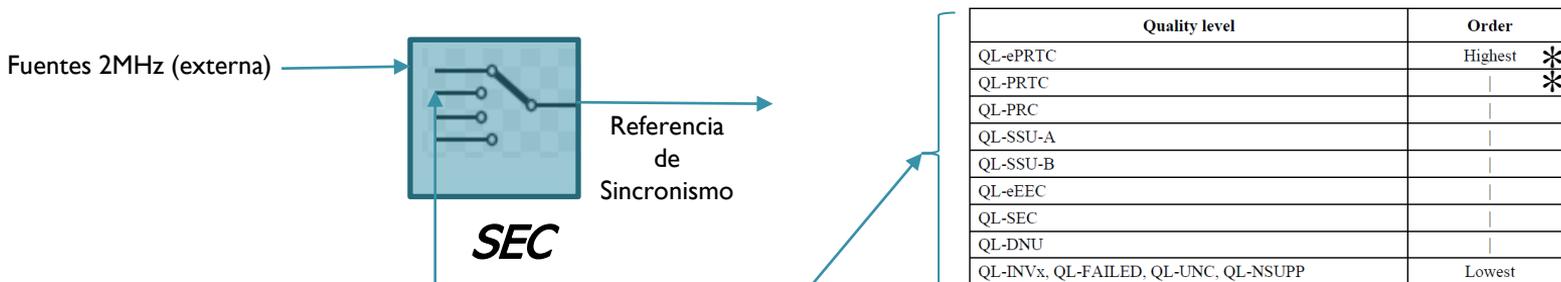
Transporte y Calidad de Sincronismo de Frecuencia por Flanco de Señal

Selector de fuentes de sincronismo de frecuencia

Los selectores de fuentes de sincronismo tienen tres criterios de selección:

- Nivel de prioridad
- Nivel de calidad (Timing Market).
- Falla de fuente de timing.

Una fuente que transporta DNU, será descartada



(*) Tipo de relojes que se verán mas adelante

Módulo 3

Sincronismo en Redes de Paquetes

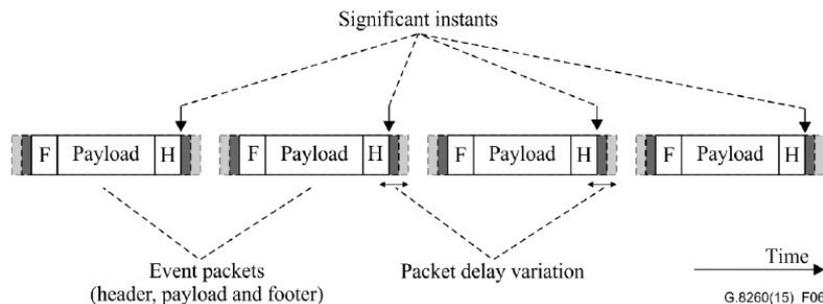
Características de sincronismo por paquetes

Protocolo de sincronismo por paquetes

Características de Sincronismo por Paquetes

En este formato de sincronizar servicios, el reloj patrón deberá estar basado en paquetes (PEC) y generará secuencia periódica con información de tiempo (Timestamp) a la red de transporte “asíncrona” aunque, como veremos después en sincronismo de fase, también podrá ser sincrónica.

Ahora en la red de transporte asíncrona de paquetes, la degradación de la señal de sincronismo será a partir de un delay fijo mas un PDV (Packet Delay Variation) debido a las condiciones de tráfico, tamaño diferente de paquetes, buffers, asimetrías upstream-downstream, etc generando un “Jitter y wander equivalente” a la señal.



Características de Sincronismo por Paquetes

- Hay varias causas del PDV sobre redes de paquetes:
 - Variación delay Random → Encolamiento de paquetes de diferentes tamaños.
 - Variación de baja frecuencia del delay → Patrones de tráfico día / noche
 - Variación Sistemática de delay → Mecanismos de store-and-forward
 - Cambios en la ruta de los paquetes → Fallas en la red.
 - Efectos de congestión → Horas picos / no pico de tráfico.
 - Asimetrías de red de transporte → Upstream / downstream

Módulo 3

Sincronismo en Redes de Paquetes

Características de
sincronismo por
paquetes

Protocolo de
sincronismo por
paquetes

Protocolo de Sincronismo por Paquetes

Protocolos para sincronización de servicios basado en paquetes.

En este tipo de modos de sincronización, con el transcurrir del tiempo, se fueron introduciendo diversos protocolos, comenzando con el NTP usado para aplicaciones poco performantes hasta los de nuestros días que serán a lo que nos abocaremos.

La IEEE 1588 es la base del protocolo PTP (Precision Time Protocol), utilizado en automatización de industrias que, en su ultima edición (V2), introduce perfiles propios para la Telecomunicaciones (Telecom Profile).

En este estándar, no solo se especifica la mensajería, sino también se definen tipos de relojes de paquetes.

El ITU.T partiendo de esta última V2, ha introducido algunas modificaciones y generado varios estándares, relativos a arquitecturas, tipos de relojes, tanto para sincronismo de frecuencia como de fase y tiempo.

Protocolo de Sincronismo por Paquetes

➤ *Características principales de la mensajería PTP. (IEEE 1588v2)*

- **Soporte sobre Redes de datos**

El protocolo está preparado para transportarse en redes Ethernet, IP, MPLS o combinación de ellas.

- **Dominios.**

Es una agrupación lógica de relojes que permite particionar la red en diferentes grupos administrativos. Dentro de un dominio PTP, debe haber un único valor de dominio para todos los relojes.

- **Tipos de Mensajes.**

El IEEE define dos tipos de mensajes: Paquetes PTP de Eventos (información de tiempo) y Paquetes PTP Generales.

Protocolo de Sincronismo por Paquetes

➤ *Características principales de la mensajería PTP. (IEEE 1588v2) (cont.)*

• Modo PTP.

✓ *Operación One Way / Two Way.*

PTP es un protocolo diseñado para ofrecer sincronización de tiempo.

Algunas aplicaciones necesitan corregir el delay introducido por la red (Two Way) y otras no (One Way).

✓ *Modo Reloj One step / two step*

“Reloj de un paso” la marca de tiempo precisa se transporta directamente en el mensaje de sincronización (menos procesamiento)

“Reloj de dos pasos”, se utiliza un primer mensaje de seguimiento para luego llevar el tiempo preciso en el mensaje de sincronización correspondiente.

Protocolo de Sincronismo por Paquetes

➤ *Características principales de la mensajería PTP. (IEEE 1588v2) (cont.)*

✓ *Modo de mapeo mensajes Unicast / Multicast.*

El estándar permite usar mensajes IPv4/UDP o IPv6/UDP en modo unicast o Multicast Ethernet.

• Velocidad de paquetes.

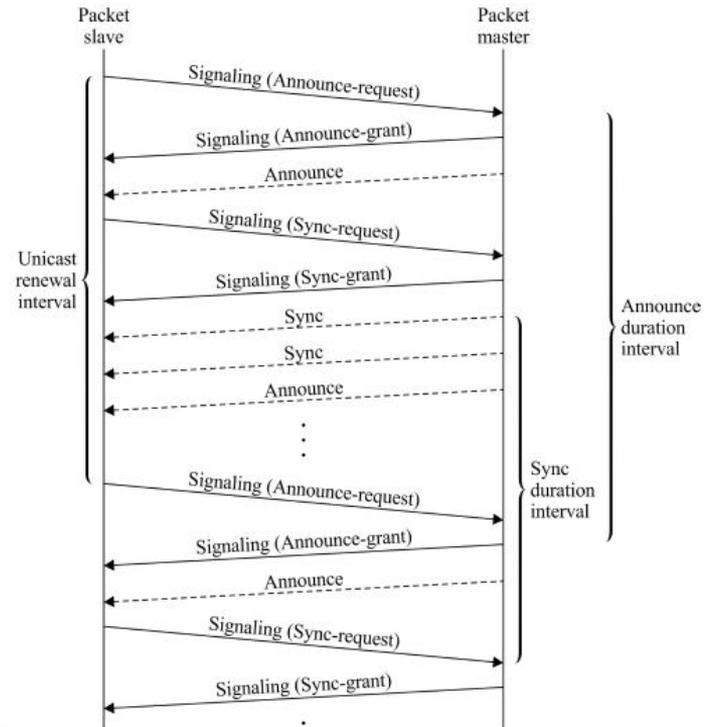
El bitrate de los mensajes de PTP tienen un rango dependiendo de la aplicación, siendo el máximo determinado por la IEEE 1588v2 de 128 mensajes por segundo.

• Mensajes de negociación Unicast

Es un mecanismo de negociación entre el reloj maestro y esclavo a partir de un requerimiento de este último para ser sincronizado por el maestro direccionado.

Protocolo de Sincronismo por Paquetes

- Mensajes de negociación Unicast



Protocolo de Sincronismo por Paquetes

➤ *Características principales de la mensajería PTP. (IEEE 1588v2) (cont.)*

• BMCA (Best Master Class Algoritm)

Este protocolo fue pensado para redes de paquetes asíncronas, este mecanismo permite seleccionar al reloj esclavo entre los relojes maestros disponible que fueron seleccionados (configurados).

Este algoritmo originalmente presente en el IEEE 1588v2 (BCMA), fue tomado por el ITU-T haciéndole algunas modificaciones (BCMA Alternativo) con el fin, por ejemplo, que evite loop de sincronismo entre otras funciones.



BREAK !!!

Módulo 4

Sincronismo de Frecuencia en Redes de Paquetes

Características
y límite de Red
de Transporte

Arquitectura

Particularidades
del Protocolo
PTP

Tipo de Relojes

Características de Sincronismo de Frecuencia por Paquetes

Al igual que en TDM, los relojes esclavos tienden a filtrar el jitter generado por la red, pero en este caso a partir del PDV.

Este modelo de timing en paquetes respecto al físico en TDM presenta algunas características que los diferencian en el sincronismo de frecuencia:

- **Velocidad de muestras:**

En TDM hay $2,048 \times 10^6$ muestras por segundo, mientras que en paquetes *pueden variar hasta un máximo de 128 mensajes por segundo.*

- **Amplitud y naturaleza del ruido:**

La amplitud y distribución del PDV es mucho mayor que el jitter y el wander en una interfaz física TDM y puede contener mucha variación de componentes de baja frecuencia (difícil de filtrar). El ruido generado es mucho mas difícil de modelar (algoritmos).

Características de Sincronismo por Paquetes

➤ Límite de Red en PDV.

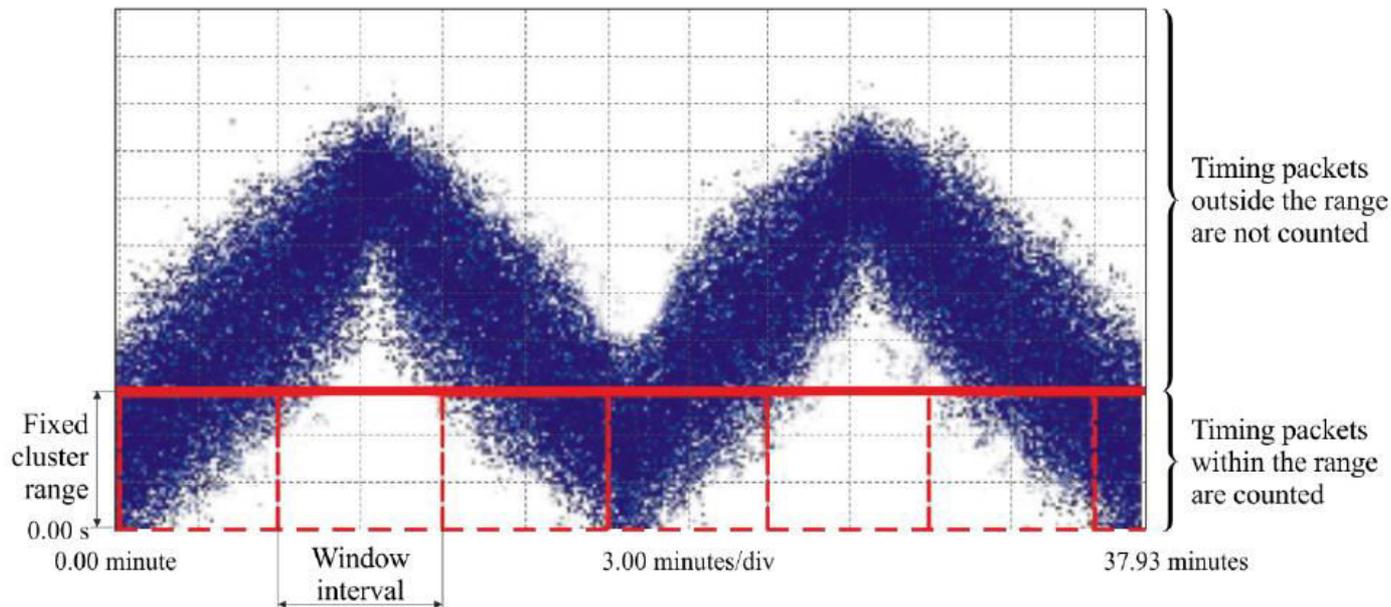
Para entregar sincronismo de frecuencia por paquetes a un reloj esclavo, se ha fijado un límite máximo de red de transporte acorde a la Rec. ITU-T 8261,1 para que los algoritmos de los relojes esclavos puedan recuperar el reloj de una fuente y entreguen al servicio final la calidad esperada.

Con un intervalo de $W = 200$ s y una gama de agrupación fija de $\alpha = 150$ μ s para el retardo base, la característica de transferencia de la red que cuantifica la proporción de paquetes entregados que se ajustan a los criterios de retardo debe satisfacer la siguiente condición.

$$FPP(n, W, \alpha) \geq 1\%$$

También se han puesto objetivos de $\alpha = 75$ μ s

Características de Sincronismo por Paquetes



$$FPP(n, W, \alpha) \geq 1\%$$

Módulo 4

Sincronismo de Frecuencia en Redes de Paquetes

Características
y límite de Red
de Transporte

Arquitectura

Particularidades
del Protocolo
PTP

Tipo de Relojes

Arquitectura de Sincronismo de Frecuencia por Paquetes

➤ *Arquitectura – Aspectos generales*

La arquitectura de transporte de sincronismo de frecuencia en paquetes está definida en la Rec. ITU-T G.8265 y G8265.1

El protocolo PTP usado se efectúa exclusivamente en los extremos distantes de la red, es decir entre reloj maestro de paquetes y reloj esclavo de paquetes y en forma totalmente transparente en la red de transporte (un flujo más de la red).

Si bien el ITU-T a estandarizado el uso de EEC con interfaces SyncEth, esta arquitectura describe el uso de mecanismos basados puramente en paquetes que se utilizan para transportar frecuencias por una red de paquetes en ausencia de temporización de capa física (asíncrono).

Arquitectura de Sincronismo de Frecuencia por Paquetes

➤ *Arquitectura – Aspectos Generales (cont.)*

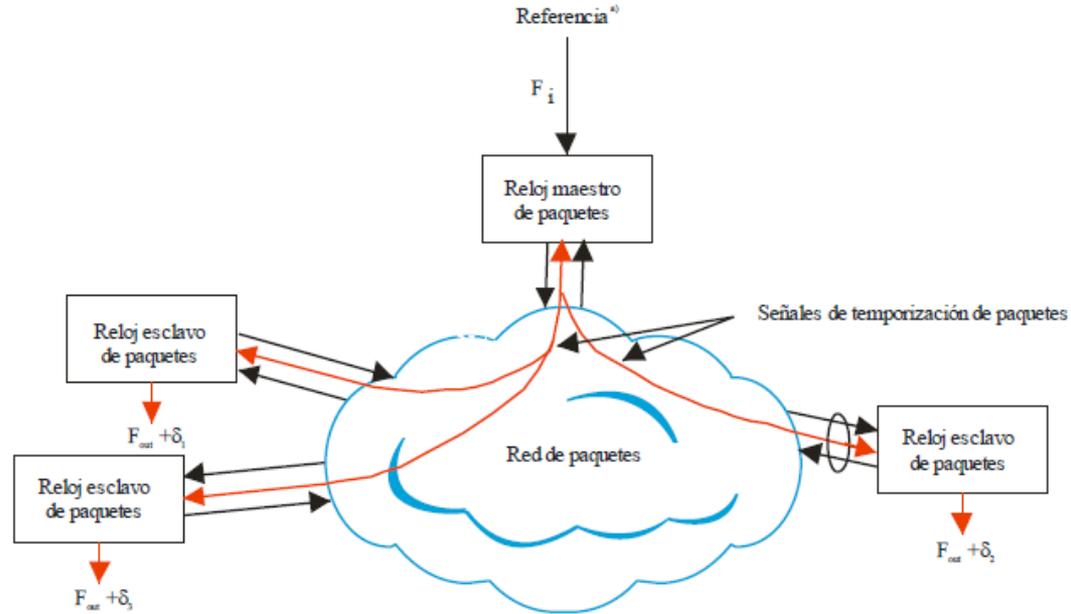
Con los "paquetes de evento" que llevan la información codificada de tiempo generadas por el reloj maestro de paquetes y se transporta por una red de paquetes a un reloj esclavo de paquetes.

Como la frecuencia es la derivada de la fase / tiempo, la indicación de tiempo puede utilizarse generar sincronismo de frecuencia.

El flujo de sincronización es de maestro a esclavo (sin mediación intermedia de la red).

El reloj maestro de paquetes debe estar referenciado a un PRC (o relojes subordinados a él) y trazará su calidad (BCMA) a los relojes esclavos de paquetes.

Arquitectura de Sincronismo de Frecuencia por Paquetes

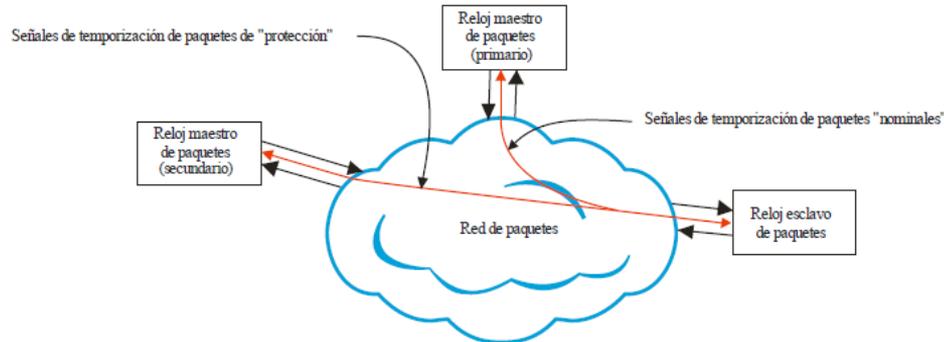


⁹⁾ La referencia puede provenir directamente de PRC, de un GNSS o a través de la red de sincronización

Arquitectura de Sincronismo de Frecuencia por Paquetes

➤ Arquitectura - Protecciones de Temporización

A diferencia de la temporización de capa física donde la selección del reloj se realiza en el reloj subordinado, la selección de un reloj maestro secundario puede implicar cierta comunicación y negociación entre el maestro y el subordinado, y entre el maestro secundario y el subordinado.

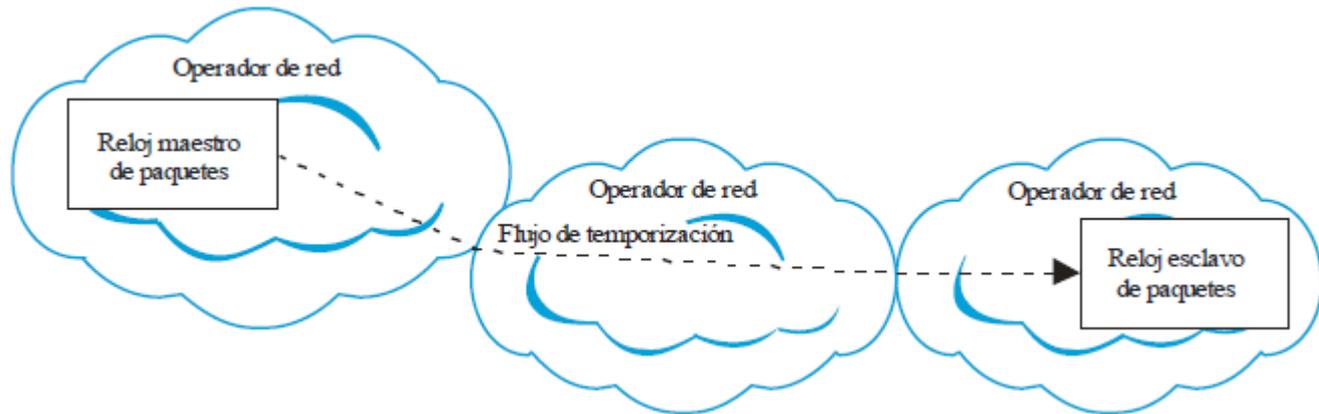


NOTA – En aras de la claridad, no se muestran las señales de referencia de red a los maestros.

Arquitectura de Sincronismo de Frecuencia por Paquetes

➤ *Arquitectura - Partición de red de paquetes*

Las redes de paquetes pueden dividirse en varios dominios administrativos diferentes. En el transporte de temporización por la red de paquetes debe tenerse en cuenta la partición de redes en diferentes dominios de administración.



Módulo 4

Sincronismo de Frecuencia en Redes de Paquetes

Características
y límite de Red
de Transporte

Arquitectura

Particularidades
del Protocolo
PTP

Tipo de Relojes

Protocolo PTP para Sincronismo de Frecuencia

Del Telecom Profile de IEEE 1588v2, detallaremos las características PTP para sincronismo de frecuencia.

- **Soporte sobre Redes de datos**

El perfil para frecuencia, dado que debe soportar distintos dominios administrativos de red, es IP, MPLS o combinación de ellas.

- **Dominios PTP.**

Para sincronismo de frecuencia se ha fijado el rango de 4 a 23 como valores de dominio.

- **Mensajes de negociación Unicast**

Estos mensajes se utilizan cuando el reloj esclavo solicita ser sincronizado de reloj maestro (Dominio / Dirección IP) de temporización.

Protocolo PTP para Sincronismo de Frecuencia

- **Modo PTP.**

- ✓ ***Modo de Operación: One Way / Two Way***

- Como no se requiere compensar delay introducido por la red, en sincronismo de frecuencia, se utiliza el mecanismo Unidireccional (One Way) de transporte de tiempo.

- ✓ ***Modo Reloj: One step / Two step***

- Para sincronización de frecuencia, cualquiera de los modos de reloj puede utilizarse.

- ✓ ***Modo de mapeo mensajes: Ethernet Multicast / Unicast.***

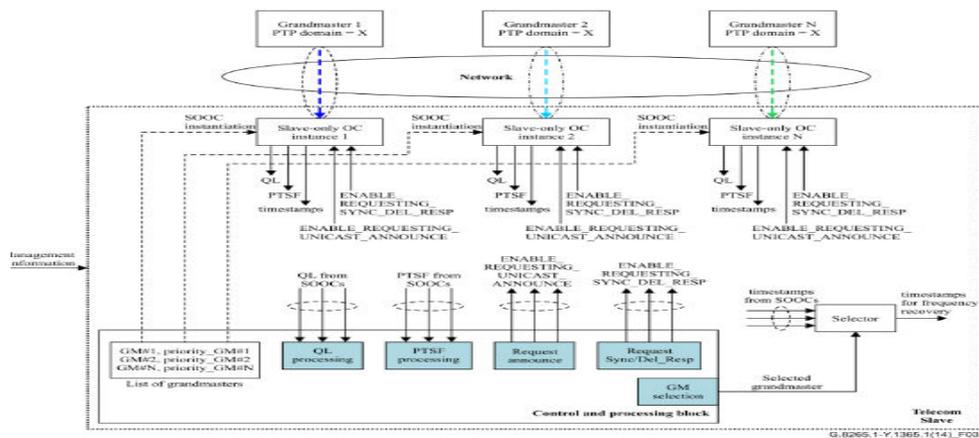
- Por lo expresado anteriormente, en el caso de sincronismo de frecuencia usa IP/UDP, pudiendo ser estos IPv4 o IPv6 unicast.

Protocolo PTP para Sincronismo de Frecuencia

- BMCA (Best Master Class Algorithm)**

El reloj esclavo puede participar en diferentes dominios y inicia diferentes instancias (SOOC) con los relojes maestro (de cada dominio) seleccionados.

De cada una de esas instancias rescata la calidad y estado de alarma del reloj de su lista y con su prioridad, selecciona la fuente mas adecuada.



Protocolo PTP para Sincronismo de Frecuencia

- **BMCA (Best Master Class Algoritm) (cont.)**

A fin de mantener una compatibilidad con el transporte de sincronismo de frecuencia por flanco, el ITU-T ha fijado valores de la “clase de reloj” que se “alinean” a los transportados por los SSM y ESMC

Los siguientes parámetros contribuyen a la selección de la fuente de sincronismo:

- a) Nivel de Prioridad.
- b) Nivel de Calidad.
- c) Falla o ausencia de señal de timing

SSM QL	ITU-T G.781			PTP clockClass
	Option I	Option II	Option III	
0001		QL-PRS		80
0000		QL-STU	QL-UNK	82
0010	QL-PRC			84
0111		QL-ST2		86
0011				88
0100	QL-SSU-A	QL-TNC		90
0101				92
0110				94
1000	QL-SSU-B			96
1001				98
1101		QL-ST3E		100
1010		QL-ST3/ QL-EEC2		102
1011	QL-SEC/ QL-EEC1		QL-SEC	104
1100		QL-SMC		106
1110		QL-PROV		108
1111	ΩΓ-DΩΠ	ΩΓ-DΩΣ		110

Módulo 4

Sincronismo de Frecuencia en Redes de Paquetes

Características
y límite de Red
de Transporte

Arquitectura

Particularidades
del Protocolo
PTP

Tipo de Relojes

Relojes de Sincronismo de Frecuencia – T-GM

➤ Relojes Grand Master – T-GM.

Los relojes T-GM para sincronización de frecuencia (PEC-M-F) están basados sobre la Rec. ITU-T G.812 con algunos adicionales que se detallan en la Rec. ITU-T G.8266.

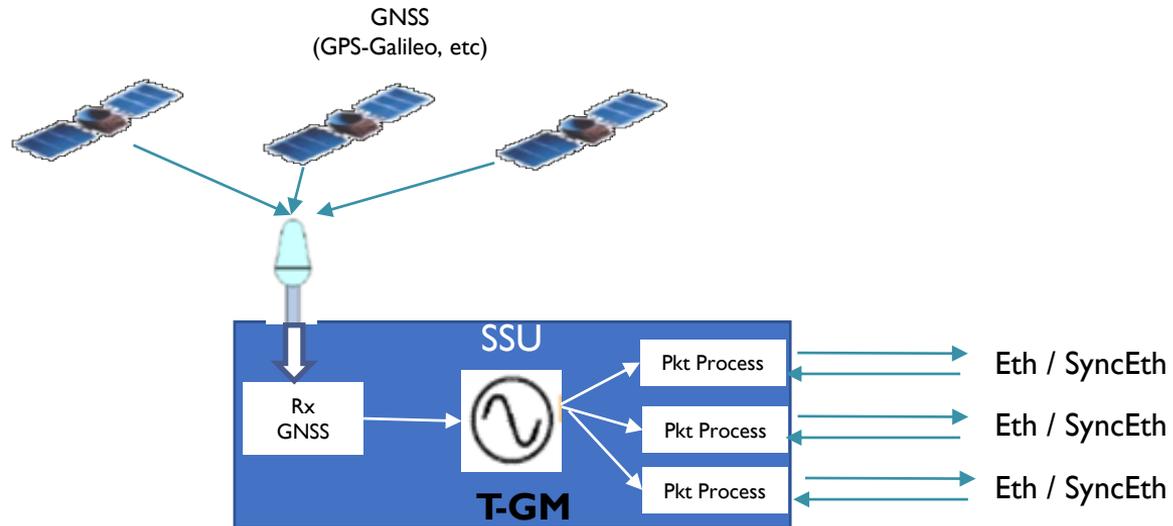
Es decir que sus parámetros de Exactitud, Generación de ruido Máxima (salida de sincronismo) como Tolerancia al Ruido (entrada externa de sincronismo) estarán acorde a Rec. ITU-T G.812 de acuerdo a las especificaciones Tipo I, etc. que allí se detallan.

Diferencia con los relojes G.812 vistos en el Módulo 2:

- T-GM deben presentar salida de sincronismo Ethernet transportando mensaje PTP. Esta interfaz Ethernet también puede ser SyncEth.
- Como referencia de sincronismo de entrada se pueden adicionar variantes de escala de tiempo (1pps, ToD, GNSS) a las referencias de interfaces síncronas ya conocidas (2MHz, 2Mb/s,) SyncEth.

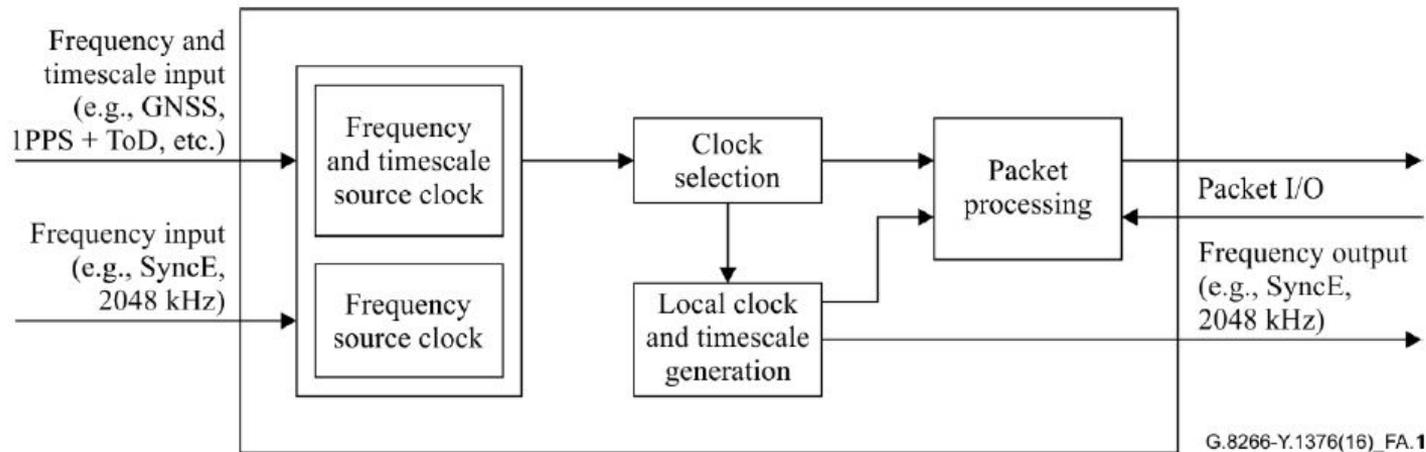
Relojes de Sincronismo de Frecuencia – T-GM

- Arquitectura general de un T-GM.



Relojes de Sincronismo de Frecuencia – T-GM

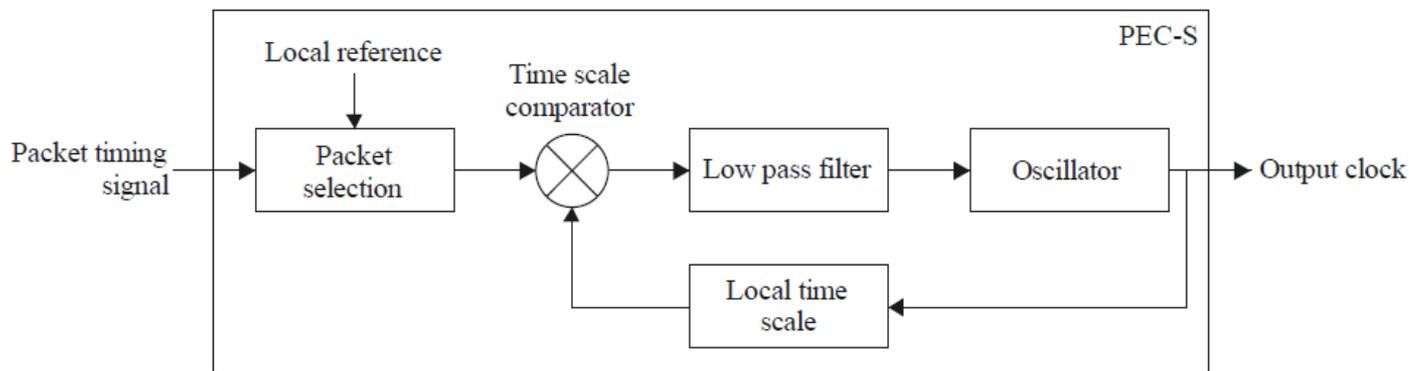
- Diagrama funcional de T-GM.



Relojes de Sincronismo de Frecuencia – Esclavos

➤ Relojes de Nodo Esclavos (PEC-S-F).

Basados en tecnologías de Cuarzo, y sus características definidas en Rec. ITU-T G.8263 con una exactitud de 4,6 ppm en estado de free running y una tolerancia mínima de entrada de paquetes acorde a Rec. ITU-T 8261.1



G.8263-Y.1363(12)_FA.1



Fin Clase N°2

Ing. Daniel Torrabadella
daniel.torrabadella@gmail.com



Curso de Sincronismo de Frecuencia, Fase y Tiempo

Clase N°3

Ing. Daniel Torrabadella
daniel.torrabadella@gmail.com



Curso de Sincronismo de Frecuencia, Fase y Tiempo

- ✓ Módulo 1: Tipos de Sincronismo y como afectan a los servicios.
- ✓ Módulo 2: Sincronismo de Frecuencia por flanco de señal.
- ✓ Módulo 3; Sincronismo en redes de paquetes.
- ✓ Módulo 4: Sincronismo de Frecuencia en redes de paquetes.
- ✓ Módulo 5: Sincronismo de fase y tiempo.

Ing. Daniel Torrabadella
daniel.torrabadella@gmail.com

Módulo 5

Sincronismo de Fase y Tiempo

Modos de Sincronismo de Fase y Tiempo

Arquitectura de sincronismo FTS

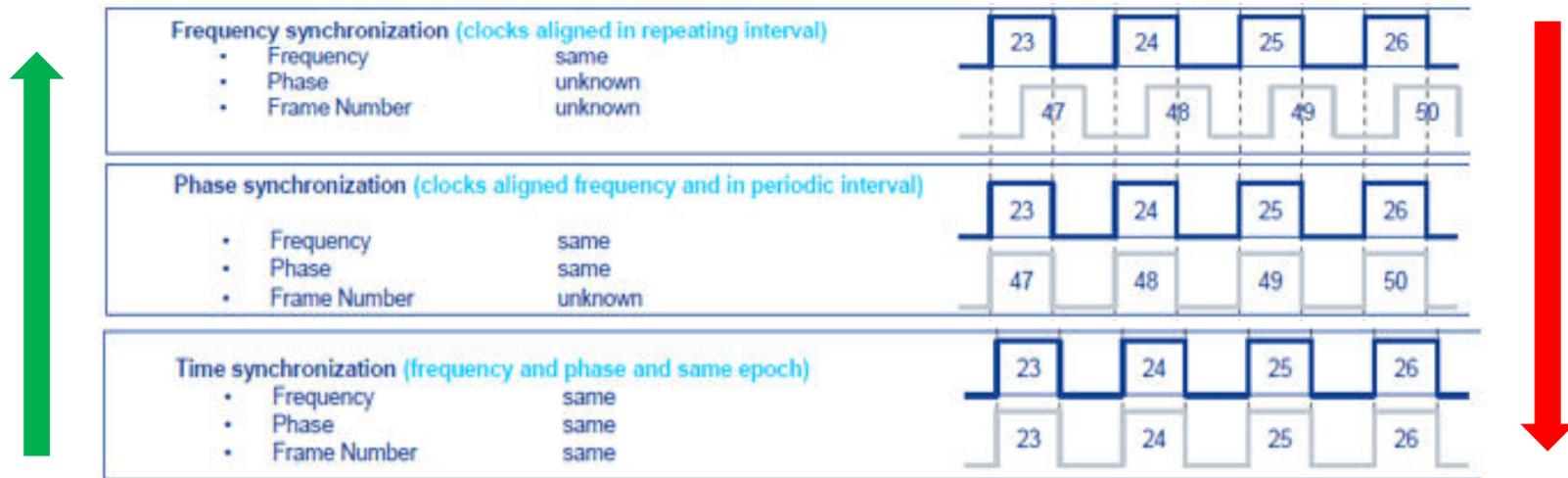
Arquitectura de sincronismo PTS

Parámetros y Relojes de Sincronismo de Fase y Tiempo

Time Budget en Redes de Transporte

Modos de Sincronismo de Fase / Tiempo

Cuando hablamos de sincronismo de Fase / Tiempo, ya no alcanza que el periodo de la señal de sincronismo se mantenga fijo, sino que a su vez deberán tener el flanco de ascenso o timestamp en el mismo instante en todos los puntos de la red donde se brinda el servicio.



Modos de Sincronismo de Fase / Tiempo

- Como vimos antes, el servicio que requiere este tipo de sincronismo es la móvil (LTE advance + 5G)
- No alcanza con sincronizar en frecuencia con el flanco de la señal o con los paquetes PTP unicast “unidireccionales” como se hace en frecuencia.
- El sincronismo de Tiempo (por ende de fase) se resuelve a partir de un reloj preciso donde se brida el servicio. ¿Como se puede hacer esto?

A) Agnóstico a la red de transporte.

Poniendo un GNSS en cada punto donde se da servicio.

B) Utilizando la red de Transporte

Poniendo un reloj centralizado en un punto de red y con PTP “bidireccional” para compensar el delay introducido de la red hasta el punto donde se da servicio.

C) Una combinación de ambas.

Diagrama General

Agnóstico a la red de transporte



Modos de Sincronismo de Fase / Tiempo

➤ Agnóstico a la Red de Transporte (GNSS)

- Sistema de sincronización de tiempo y fase a partir de la constelación de satélites (GNSS) teniendo en línea de vista al menos 4 satélites en forma simultánea donde se brinda el servicio.
- Cuanto más alta es la cantidad de satélites a línea de vista simultáneamente, más exacta será la información de tiempo/fase entregada.
- Existen varias constelaciones disponibles que se utilizan para distintos fines además de las telecomunicaciones (aeronavegación, posicionamiento naval, etc.).
- Las más conocidas son GPS (EEUU), Galileo (Europa), Glonass (Rusia).
- Para hacer uso de este tipo de sincronización de tiempo, el equipo que brinda el servicio tiene que tener entrada de señal GNSS en su módulo de sincronismo.

Modos de Sincronismo de Fase / Tiempo

✓ Limitaciones de sincronismo de tiempo y fase mediante GNSS

▪ *Zonas metropolitanas de altas edificaciones:*

Puede no disponer durante todo el tiempo la visibilidad de al menos 4 satélites simultáneamente.

▪ *Despliegues Indoor*

Sistemas Indoor de celdas comprometen la ubicación de un receptor GNSS en ventanas o conseguir acceso al exterior.

▪ *Instalación del cable coaxial.*

La instalación del cable coaxial debe ser de buena calidad dado la baja señal RF recibida de la constelación. Falta de buena masa típico problema de falla.

Modos de Sincronismo de Fase / Tiempo

✓ Limitaciones de sincronismo de tiempo y fase mediante GNSS (cont.)

▪ *Jamming o interferencia en receptor GNSS.*

La interferencia de GNSS es una técnica relativamente sencilla que simplemente implica producir una señal de RF lo suficientemente fuerte como para interferir las transmisiones de los satélites de la red GNSS que se haya elegido.

La interferencia de GPS se puede llevarse a cabo de forma no intencionada o deliberada. De hecho, existe sistemas de seguridad de transporte de caudales que lo utilizan como método preventivo de asaltos.

Modos de Sincronismo de Fase / Tiempo

✓ Limitaciones de sincronismo de tiempo y fase mediante GNSS (cont.)

▪ *Spoofing en receptor satelital.*

Con el mismo concepto de seguridad en las redes, puede haber ataques intencionales a los receptores GNSS interfiriendo con señal externas (en la misma banda satelital) pero en este caso, enviando información incorrecta y así generar interferencias en el servicio.

• *Holdover de reloj de RBS.*

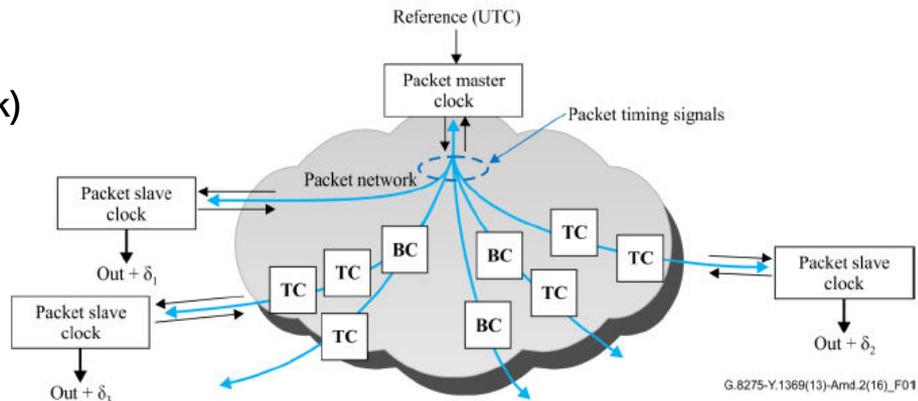
Los relojes esclavos (Cuarzo) en las RBS suelen tener una baja performance de tiempo de Holdover. Esta situación provocaría que, ante la ausencia de señal del GNSS temporal, deje sin servicio.

Modos de Sincronismo de Fase / Tiempo

➤ Utilizando la Red de Transporte.

Este mecanismo prevé relojes patrones (PRTC) distribuidos geográficamente en la red que transportará y “corregirá” el delay introducida por la red (BC/TC) con la mensajería PTP hasta el punto final donde se brinda el servicio (Packet Slave Clock).

BC: Boundary Clock
TC: Transparent Clock)



Modos de Sincronismo de Fase / Tiempo

✓ *Limitaciones de sincronismo sobre una red de Transporte.*

Esta solución también presenta limitaciones a la hora de su implementación debido a dos factores:

- Los equipos de transporte necesitaran funcionalidad de sincronismo de fase/tiempo (BC / TC).

Desarrollos posteriores al 2010 aproximadamente, ya disponen de estas funcionalidades, pero las más antiguas necesitarán un upgrade o directamente no tiene evolución.

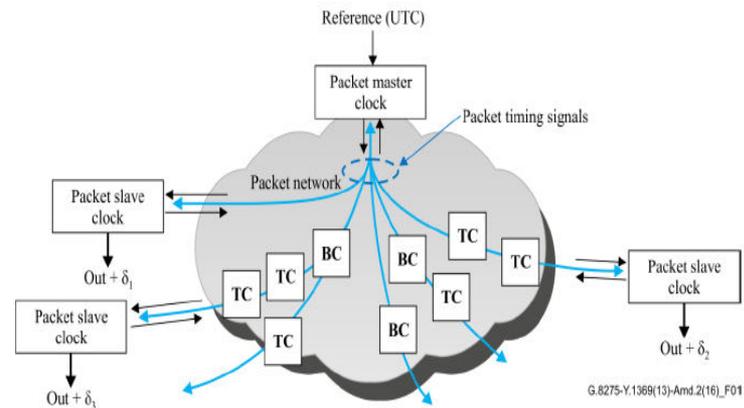
- Se deberá proyectar el Budget de Time Error (TE) que introducirá la red (degradación) a fin de que no afecte el servicio de la misma manera que se hacía con el Jitter y el Wander en frecuencia.

Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

➤ Arquitecturas – Aspectos Generales.

La referencia de tiempo se obtiene inicialmente de un reloj de tiempo de referencia primario (PRTC), que se sincronizará a la hora universal (UTC) a través de un GNSS, y permitirá al Grand Master (T-GM) entregar los mensajes PTP con el valor de tiempo absoluto.

Estos paquetes PTP con información precisa llegará al reloj esclavo donde ahora, a diferente de frecuencia, entre ambos (PRTC, reloj esclavo y relojes intermedios) corregirá los retrasos de la red con el objetivo que cada punto donde se da el servicio presente la misma hora UTC con un cierto margen de error.



Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

➤ Arquitecturas – Protecciones.

La protección se define como mecanismos que permiten mantener la referencia de fase/tiempo entregado a la aplicación final ante una falla.

Estas protecciones pueden analizarse desde el punto de vista:

- Fallas en algún elemento de red (falla de reloj, falla de nodo de transporte).
- Anomalías de corta duración (perdida de visibilidad de GNSS)
- Transiciones en las protecciones (cortes de fibra).

En la Rec. ITU-T G.8275 se describen estas protecciones.

Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

➤ Arquitecturas – Distribución de tiempo / fase en la red de transporte.

En ITU-T se describen dos métodos de distribución de tiempo/fase en una red de transporte.

- 1) **Rec. ITU-T G.8275.1 - FTS:** Cuando todos los nodos de la red proporcionan soporte de temporización (T-BC y/o T-TC como se verá más adelante) y soporte de frecuencia de capa física (flanco de señal). Este tipo de arquitectura se denomina FTS (Full Time Support).
- 2) **Rec. ITU-T G.8275.2 - PTS:** Cuando no todos los elementos de red brindan soporte de tiempo (PTP Unaware), pero el GNSS proporciona soporte de tiempo en el borde de la red con PTP, siendo SynEth opcional. Este tipo de arquitectura se denomina PTS (Partial Time Support)

Módulo 5

Sincronismo de Fase y Tiempo

Modos de Sincronismo de Fase y Tiempo

Arquitectura de sincronismo FTS

Arquitectura de sincronismo PTS

Parámetros y Relojes de Sincronismo de Fase y Tiempo

Time Budget en Redes de Transporte

Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

➤ *Arquitectura FTS (Full Time Support). – Protecciones.*

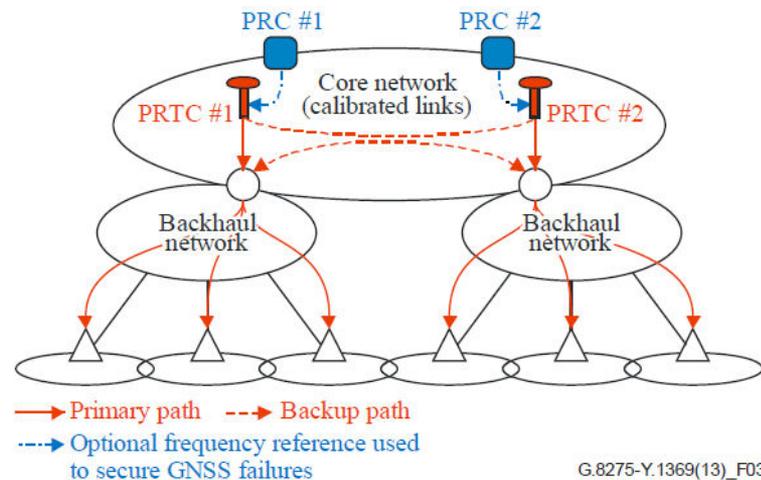
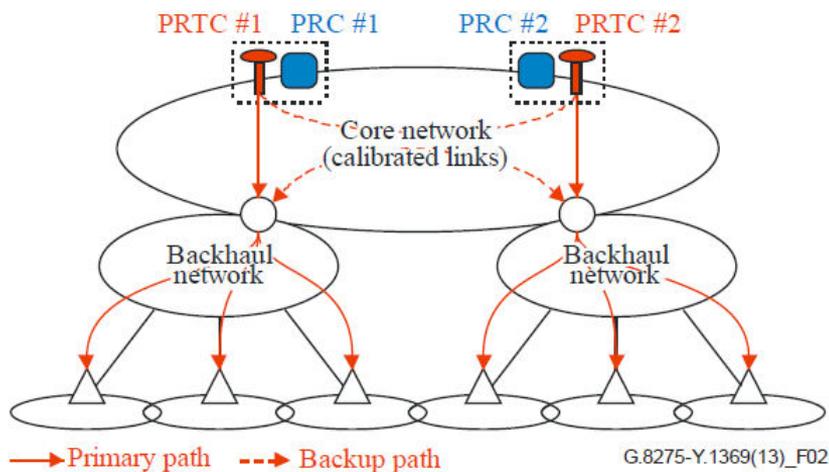
En la Rec. ITU-T G.8275 se describen distintos niveles de mecanismos de protecciones que la red de sincronismo de fase/tiempo (relojes externos + la red de transporte) puede ofrecer ante eventos, a efectos de mantener la referencia de fase/tiempo entregada a la aplicación final a un nivel aceptable.

Estas protecciones ante eventos, las podemos clasificar a aquellas relacionadas con los generadores de PTP (1) y otras relacionados al arribo de los PTP en el reloj esclavo (2)

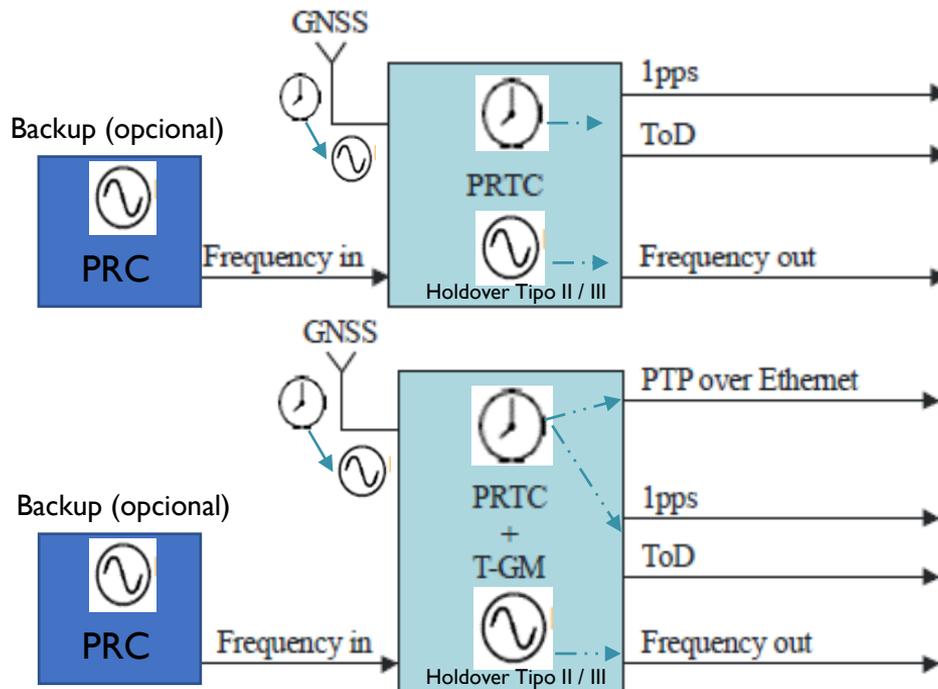
.

Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

1. Protecciones relacionadas a los relojes maestro de generación de PTP.

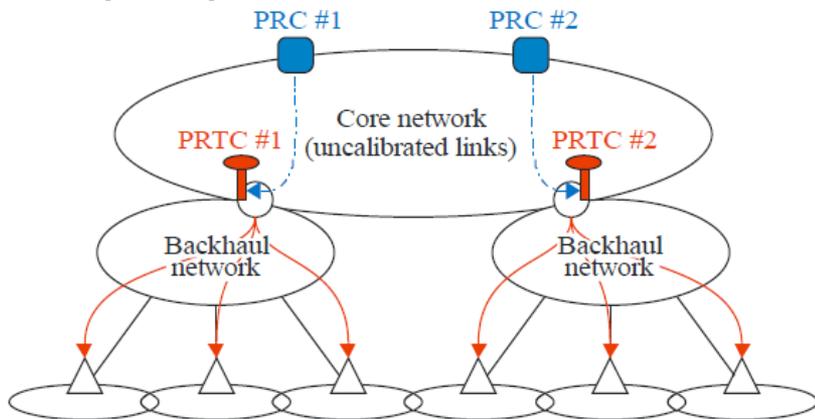


Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo



Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

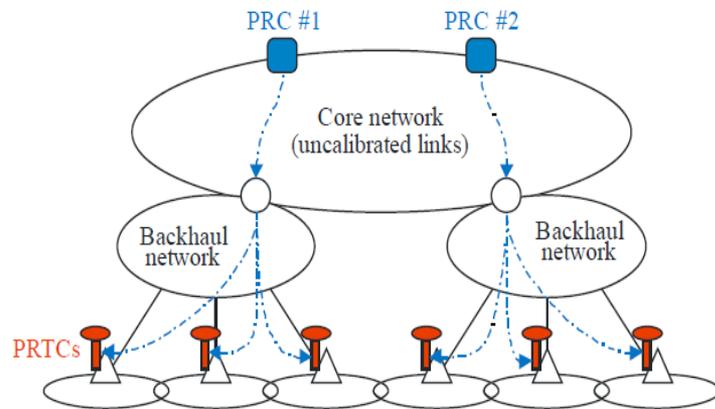
1. Protecciones relacionadas a los relojes maestro de generación de PTP. (cont.)



→ Primary path

---→ Optional frequency reference used to secure GNSS failures

G.8275-Y.1369(13)_F04



---→ Optional frequency reference used to secure GNSS failures

CePETel

Sindicato de los Profesionales
de las Telecomunicaciones

SECRETARÍA TÉCNICA

Junio 2023



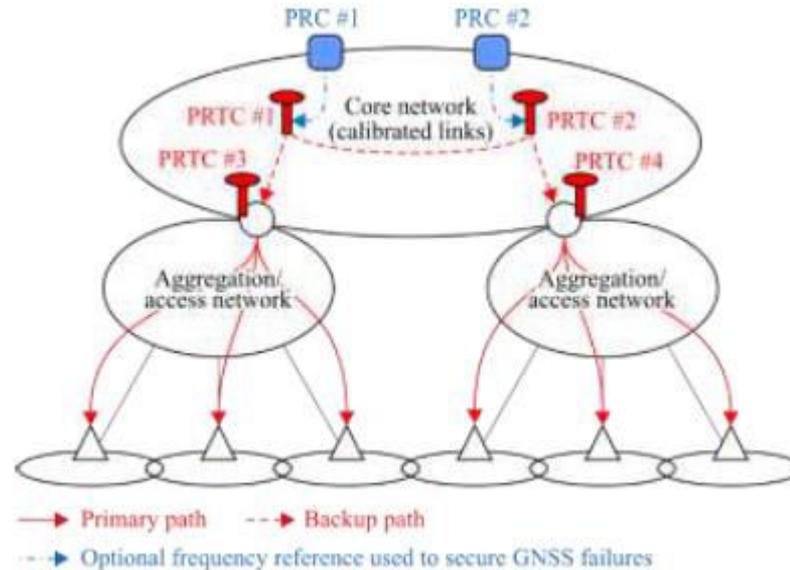
Instituto Profesional de
Estudios e Investigación



DOTCOM
FORMACIÓN

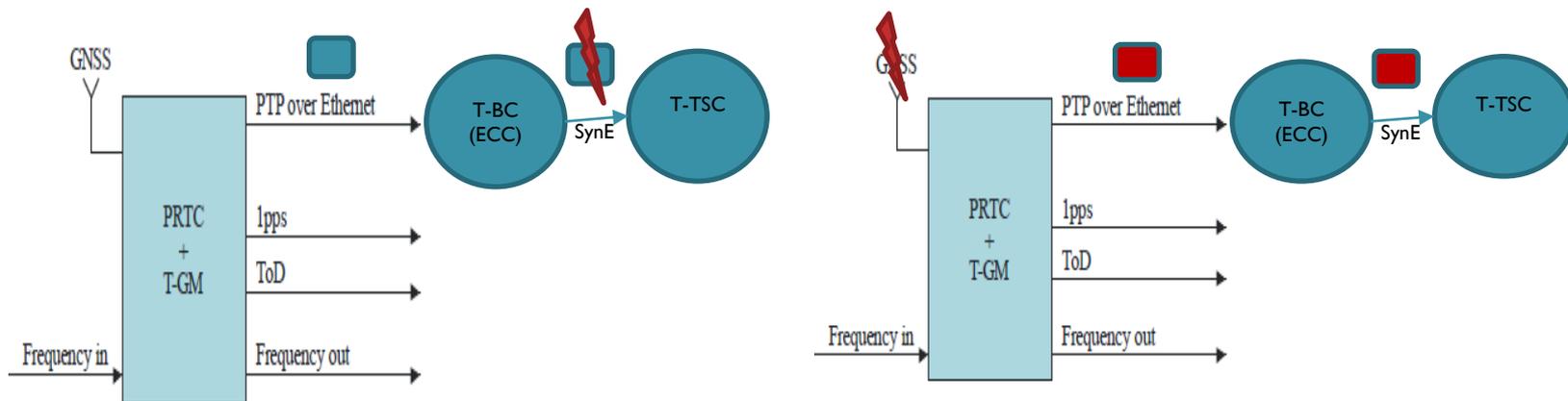
Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

1. Protecciones relacionadas a los relojes maestro de generación de PTP. (cont.)



Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

2. Protecciones relacionados al arribo de paquetes al reloj esclavo.



CePETel

Sindicato de los Profesionales
de las Telecomunicaciones

SECRETARÍA TÉCNICA

Junio 2023



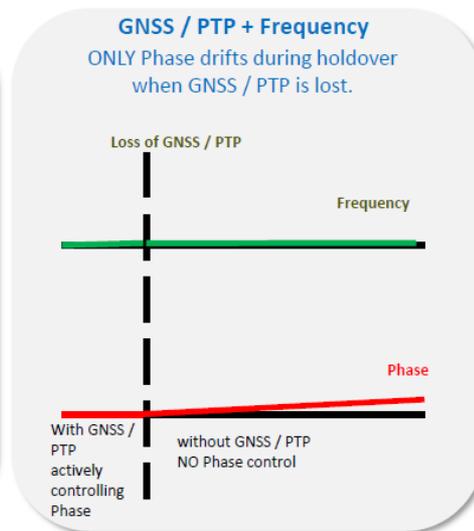
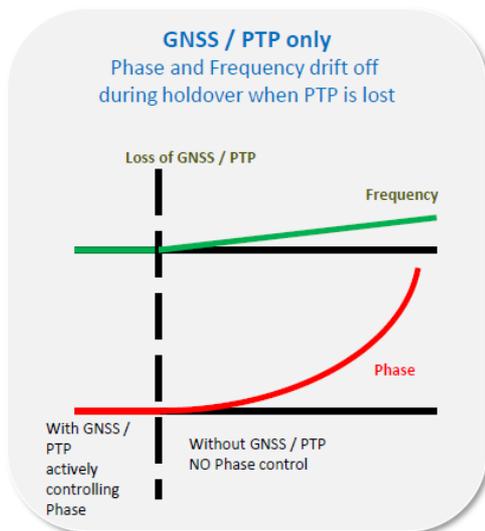
Instituto Profesional de
Estudios e Investigación



DOTCOM
FORMACIÓN

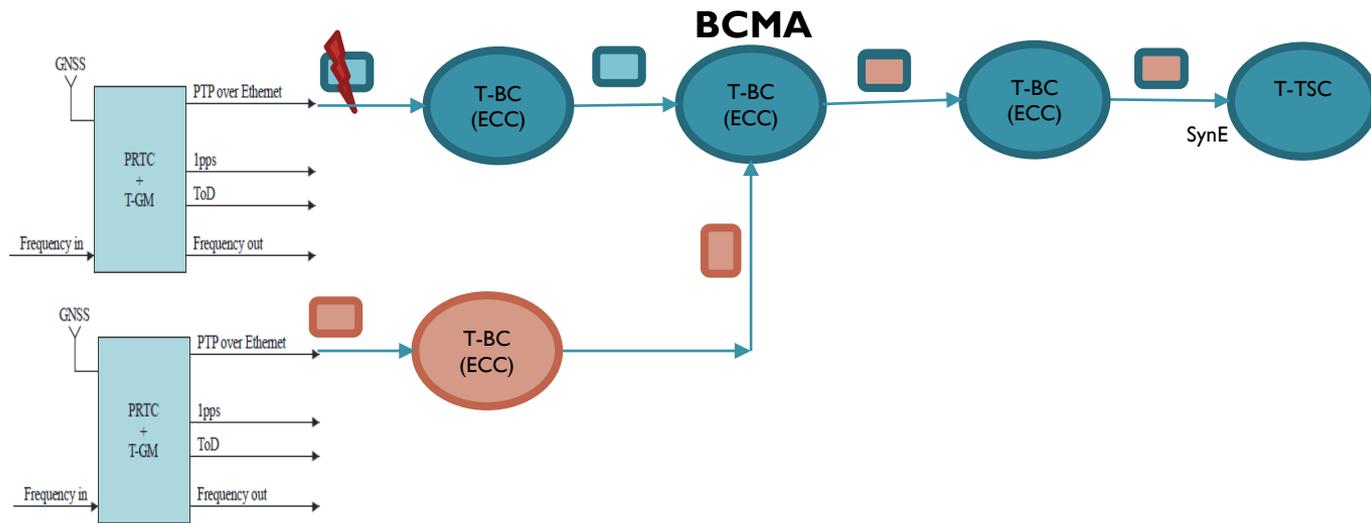
Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

2. Protecciones relacionados al arribo de paquetes al reloj esclavo. (cont.)



Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

2. Protecciones relacionados al arribo de paquetes al reloj esclavo. (cont.)



Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

➤ *Arquitectura FTS (Full Time Support). Características mensajes PTP*

Del Telecom Profile de IEEE 1588v2, detallaremos las características PTP para sincronismo de fase/tiempo acorde a los especificado Rec. ITU-T G.8275.1

- **Soporte sobre Redes de datos**

En este perfil, la red de transporte debe soportar en su totalidad funcionalidades de fase/tiempo (PTP aware).

Este perfil es disponible tanto en redes Ethernet (L2) o redes IP/MPLS sobre Ethernet (L3).

- **Dominios PTP.**

Para sincronismo de frecuencia se ha fijado el rango de 24 a 43 como valores de dominio.

Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

➤ *Arquitectura FTS (Full Time Support). Características mensajes PTP (cont.)*

• Modo PTP.

✓ *Modo de Operación: One Way / Two Way*

Como se requiere compensar delay introducido por la red, en sincronismo de fase/tiempo, se utiliza el mecanismo Bidireccional (Two Way) de transporte de tiempo.

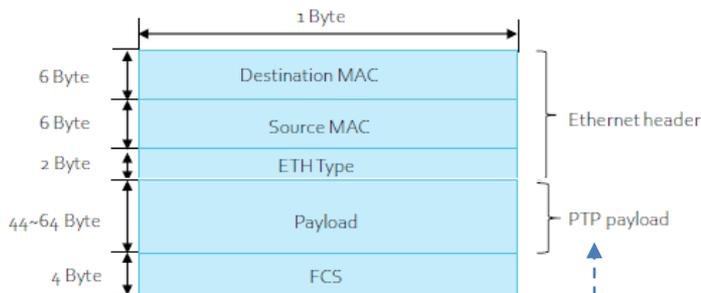
✓ *Modo Reloj: One step / two step*

Para sincronización de fase/tiempo, cualquiera de los modos de reloj puede utilizarse.

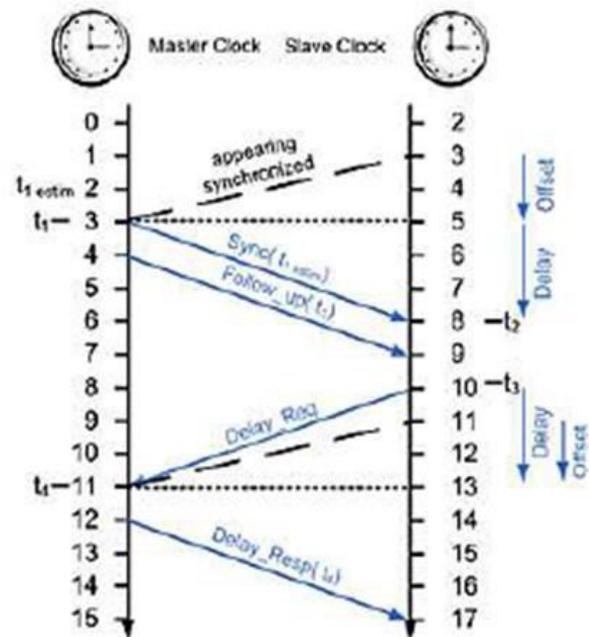
✓ *Modo de mapeo mensajes: Ethernet Multicast / IP UDP*

Al requerir que todos los elementos de la red de transporte L2 / L3 traten los mensaje PTP, esta arquitectura se basa en Ethernet Multicast (L2).

Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo



Bits								Octets	Offset
7	6	5	4	3	2	1	0		
majorSdoId				messageType				1	0
minorVersionPTP				versionPTP				1	1
messageLength								2	2
domainNumber								1	4
minorSdoId								1	5
flagField								2	6
correctionField								8	8
messageTypeSpecific								4	16
sourcePortIdentity								10	20
sequenceId								2	30
controlField								1	32
logMessageInterval								1	33



CePETel

Sindicato de los Profesionales
de las Telecomunicaciones

SECRETARÍA TÉCNICA

Junio 2023



Instituto Profesional de
Estudios e Investigación



DOTCOM
FORMACIÓN

Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

- **BMCA (Best Master Class Algoritm)**

EL BCMA para sincronismo de fase/tiempo también se encuentra definido en el IEEE 1588v2, pero el ITU-T ha definido un “BCMA alternativo” que presenta algunas modificaciones respecto al original a efectos que se adecuen mejor a una red de Telecomunicaciones. Este BCMA alternativo se encuentra descrito en la Rec. ITU-T G.8275.1

La calidad del reloj enviada de un reloj (T-GM, T-BC) dependerá del estado del mismo (Locked, Holdover, freerun) y del soporte en frecuencia que presente para que el reloj esclavo decida la fuente en función de su Clase.

En la tabla siguiente se muestra los valores definidos y los flag activados acorde al estado.

Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

Phase/time traceability description	defaultDS. clockQuality. clockClass	frequencyTraceable flag	timeTraceable flag
T-GM connected to a PRTC in locked mode (e.g., PRTC traceable to GNSS)	6	TRUE	TRUE
T-GM in holdover, within holdover specification, traceable to Category 1 frequency source (Note 1)	7	TRUE	TRUE
T-GM in holdover, within holdover specification, non-traceable to Category 1 frequency source (Note 1)	7	FALSE	TRUE
T-BC in holdover, within holdover specification, traceable to Category 1 frequency source (Note 1)	135	TRUE	TRUE
T-BC in holdover, within holdover specification, non-traceable to Category 1 frequency source (Note 1)	135	FALSE	TRUE
T-GM in holdover, out of holdover specification, traceable to Category 1 frequency source (Note 1)	140	TRUE	FALSE
T-GM in holdover, out of holdover specification, traceable to Category 2 frequency source (Note 1)	150	FALSE	FALSE
T-GM in holdover, out of holdover specification, traceable to Category 3 frequency source (Note 1)	160	FALSE	FALSE
T-BC in holdover, out of holdover specification (Note 1)	165	(Note 2)	FALSE
T-GM or T-BC without time reference since start-up	248	(Note 2)	FALSE
Slave only OC (does not send <i>Announce</i> messages)	255	(Note 2)	As per PTP

CePETel

Sindicato de los Profesionales
de las Telecomunicaciones

SECRETARÍA TÉCNICA

Junio 2023



DOTCOM
FORMACIÓN



Fin Clase N°3

Ing. Daniel Torradella
daniel.torradella@gmail.com



Curso de Sincronismo de Frecuencia, Fase y Tiempo

Clase N°4

Ing. Daniel Torrabadella
daniel.torrabadella@gmail.com



Curso de Sincronismo de Frecuencia, Fase y Tiempo

- ✓ Módulo 1: Tipos de Sincronismo y como afectan a los servicios.
- ✓ Módulo 2: Sincronismo de Frecuencia por flanco de señal.
- ✓ Módulo 3; Sincronismo en redes de paquetes.
- ✓ Módulo 4: Sincronismo de Frecuencia en redes de paquetes.
- ✓ Módulo 5: Sincronismo de fase y tiempo.

Ing. Daniel Torrabadella
daniel.torrabadella@gmail.com

Módulo 5

Sincronismo de Fase y Tiempo

Modos de Sincronismo de Fase y Tiempo

Arquitectura de sincronismo FTS

Arquitectura de sincronismo PTS

Parámetros y Relojes de Sincronismo de Fase y Tiempo

Time Budget en Redes de Transporte

Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

➤ *Arquitectura PTS (Partial Time Support). – Protecciones.*

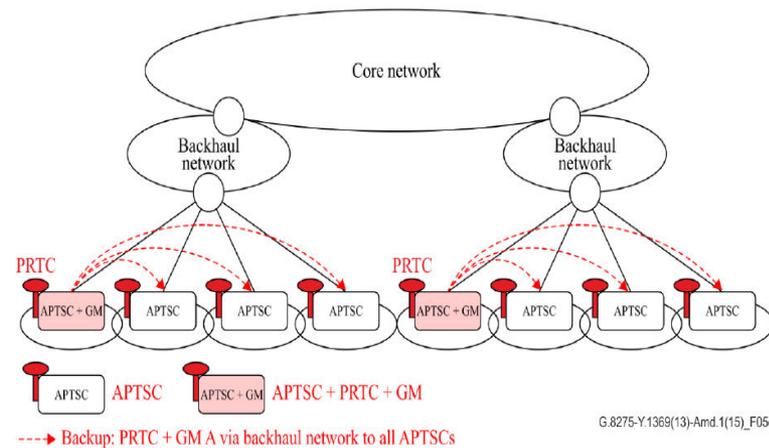
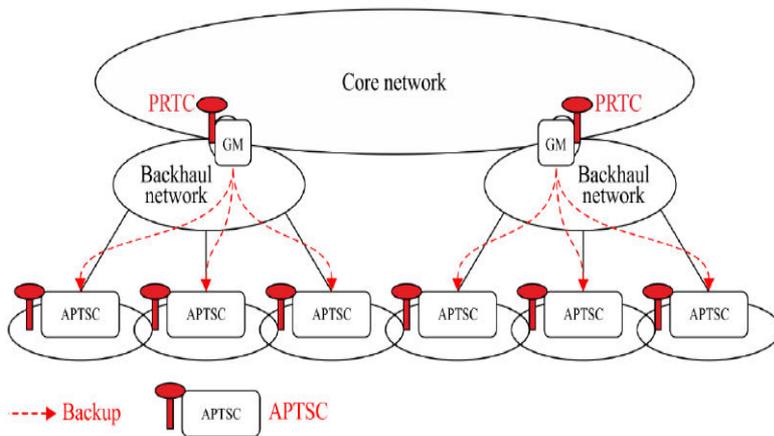
En la Rec. ITU-T G.8275 también se describen distintos niveles de protecciones que la red de sincronismo de fase/tiempo (relojes externos + la red de transporte) puede ofrecer ante eventos.

A diferencia del caso anterior, en esta arquitectura se plantean dos tipos de relojes Boundary (BC) y esclavos (TSC):

- a) Aquellos que son asistidos (APTS) por un GNSS local como fuente primaria y PTP como secundaria (T-BC-A, T-TSC-A).
- b) Aquellos que NO puede ser asistidos (PTS) por un GNSS local y solo pueden recibir mensajes PTP (T-BC-P, T-TSC-P)

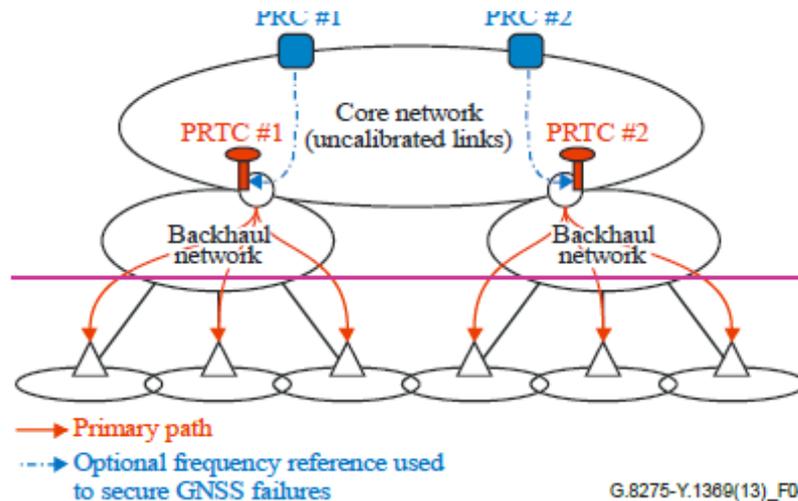
Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

1. Protecciones relacionadas a los relojes maestro de generación de PTP (APTS).



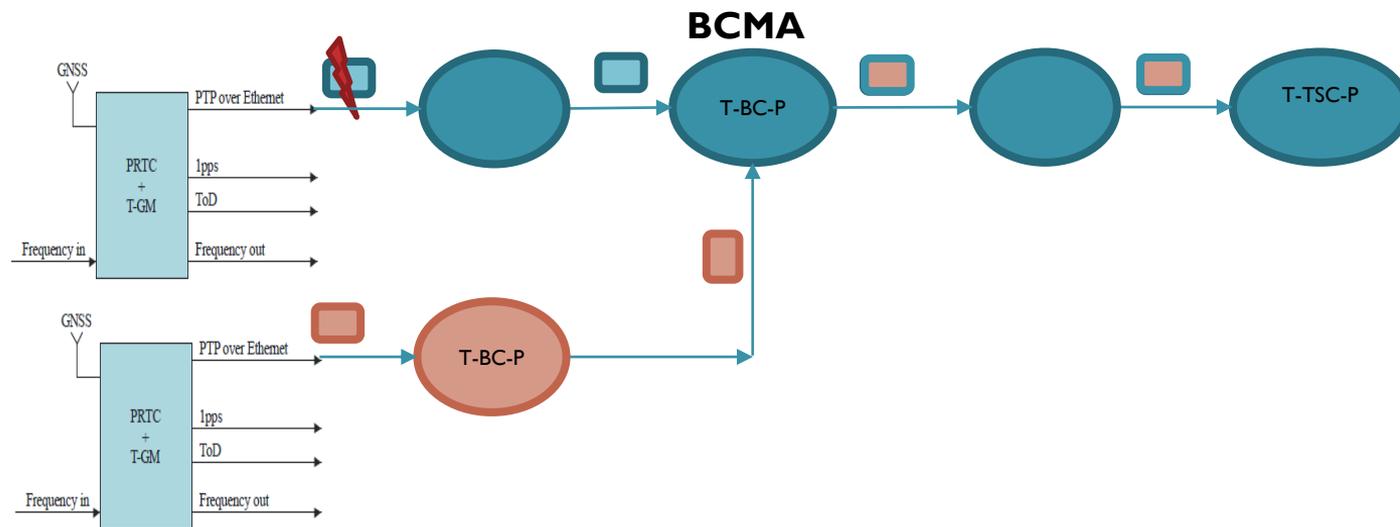
Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

1. Protecciones relacionadas a los relojes maestro de generación de PTP (PTS).



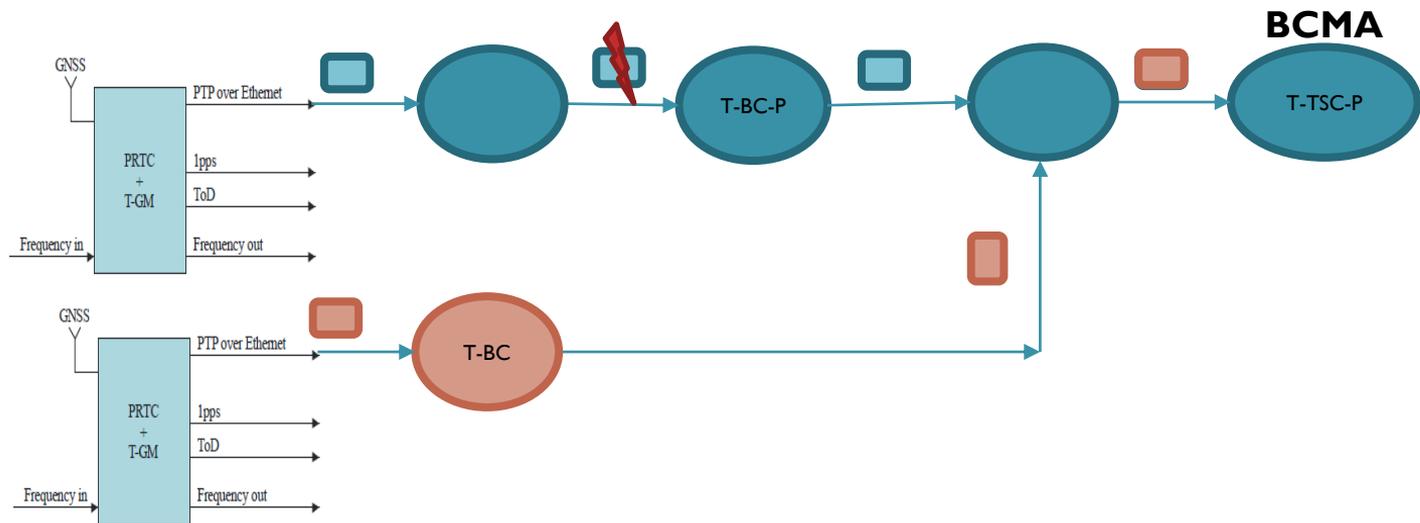
Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

2. Protecciones relacionadas al arribo de paquetes al reloj esclavo (PTS).



Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

2. Protecciones relacionados al arribo de paquetes al reloj esclavo (PTS).



Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

➤ *Arquitectura PTS (Partial Timing Support). Características mensajes PTP*

Del Telecom Profile de IEEE 1588v2, detallaremos las características PTP para sincronismo de fase/tiempo en arquitectura G.8275.2.

• Soporte sobre Redes de datos

Este perfil está orientado a redes IP que presentan ciertas limitaciones (parcial soporte de la red de transporte) a la hora de tener funcionalidades de reloj de fase/tiempo (PTP unaware).

Este perfil se utilizará en casos bien planificados en los que el comportamiento y el rendimiento de la red se pueden restringir dentro de límites bien definidos, incluidos los límites de la asimetría estática en APTS. En PTS requeriría consideraciones cuidadosas sobre cómo controlar las asimetrías estáticas.

Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

➤ **Arquitectura PTS (Partial Timing Support) Características mensajes PTP (cont.)**

• **Dominios PTP.**

Para sincronismo de frecuencia se ha fijado el rango de 44 a 63 como valores de dominio.

• **Modo PTP.**

✓ **Modo de Operación: One Way / Two Way**

Como se requiere compensar delay introducido por la red, en sincronismo de fase/tiempo, se utiliza el mecanismo Bidireccional (Two Way).

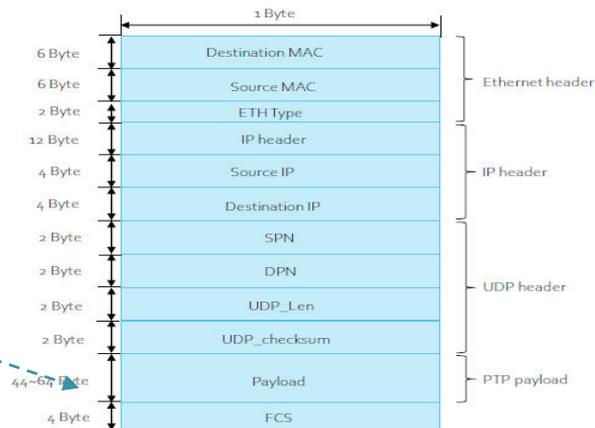
✓ **Modo Reloj: One step / two step**

Cualquiera de los modos de reloj puede utilizarse.

Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

- **Arquitectura PTS (Partial Time Support). Características mensajes PTP (cont.)**
- **Modo de mapeo mensajes: Ethernet Multicast / IP-UDP Unicast**
Este perfil soporta solo IP/UDP Unicast tanto en IPv4 como IPv6.

Bits								Octets	Offset
7	6	5	4	3	2	1	0		
majorSdold				messageType				1	0
minorVersionPTP				versionPTP				1	1
messageLength								2	2
domainNumber								1	4
minorSdold								1	5
flagField								2	6
correctionField								8	8
messageTypeSpecific								4	16
sourcePortIdentity								10	20
sequenceId								2	30
controlField								1	32
logMessageInterval								1	33



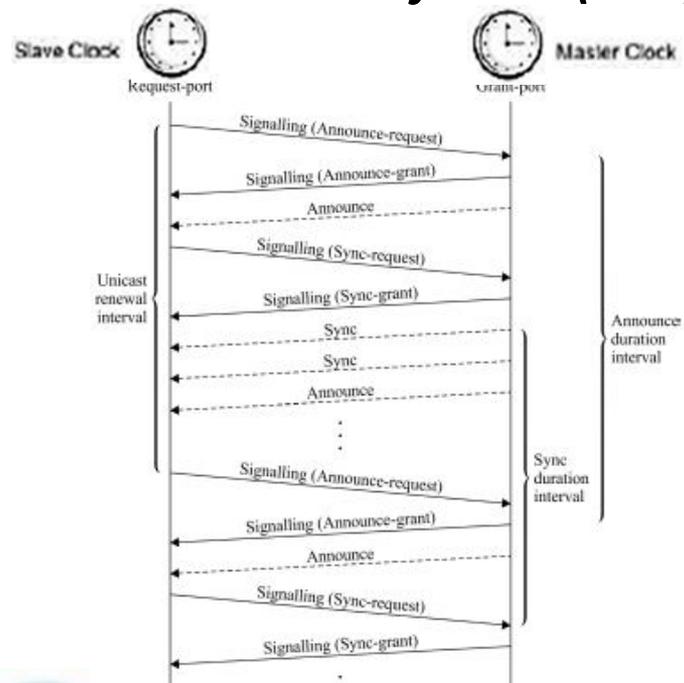
Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

➤ *Arquitectura PTS (Partial Time Support). Características mensajes PTP (cont.)*

• Mensajes de negociación Unicast

Estos mensajes se utilizan con el fin de establecer los parámetros necesarios en el reloj esclavo cuando éste solicita ser sincronizado del reloj maestro (Dominio / Dirección IP) de temporización.

Se utiliza tanto en el primer establecimiento con el reloj maestro working como con relojes alternativos en caso de falla.



Arquitectura de Sincronismo de Fase / Tiempo

- **BMCA (Best Master Class Algoritm)**

En esta arquitectura, también el ITU-T ha definido un “BCMA alternativo” al original definido en el IEEE 1588v2.

Para la red PTS este BCMA alternativo con su lógica de selección de fuentes se encuentra definido en la Rec. ITU-T 8275.2.

Presenta la misma tabla de valores definidos y flags acorde al estado de los relojes T-GM y T-BC que en la arquitectura G.8275.1

Como se verá más adelante, los relojes T-BC se distinguen dos clases. Aquellos que son asistidos (A) y aquellos que no lo son (P)

Módulo 5

Sincronismo de Fase y Tiempo

Modos de Sincronismo de Fase y Tiempo

Arquitectura de sincronismo FTS

Arquitectura de sincronismo PTS

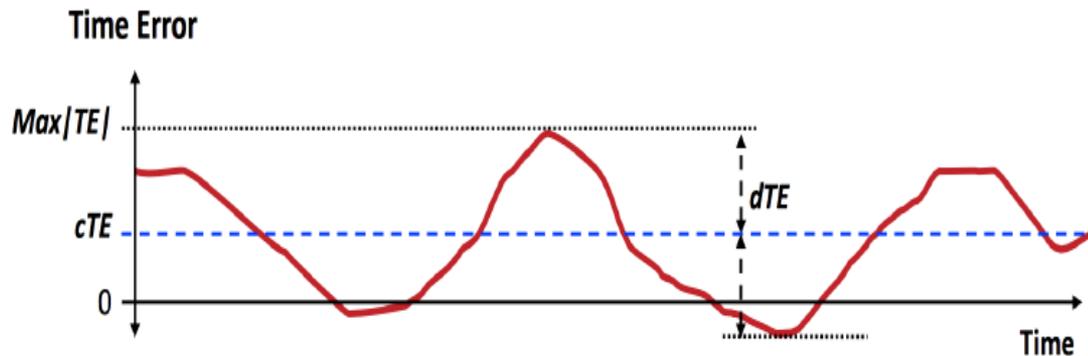
Parámetros y Relojes de Sincronismo de Fase y Tiempo

Time Budget en Redes de Transporte

Parámetros de Sincronismo de Fase / Tiempo

- **Parámetros de Sincronismo de Fase/Tiempo.**

Si de fase y tiempo hablamos, el “Time Error” (TE) es el parámetro que estará presente en las características tanto de los relojes como los límites que el servicio necesita.



cTE = Constant TE

dTE = Dinamic TE

max|TE| = Max Absolute TE

Relojes de Sincronismo de Fase / Tiempo

- **Relojes de Sincronismo de Fase/Tiempo.**

Al igual que en frecuencia, la red de sincronismo de fase / tiempo también tiene una jerarquía, y los relojes sus parámetros máximos a cumplir.

En el caso de fase / tiempo, la exactitud (ppb), será reemplazada por TE (Time Error) absoluto medida en [nseg], mientras que el Jitter y Wander (ruido) serán expresados como MTIE y TDEV también medidas en [nseg].

Las interfaces involucradas son las ya conocida del mundo de la frecuencia, sumados a propias de fase - analógica de 1pps - y de Tiempo - digital ToD -.

En la red de transporte la única forma de transportar fase/tiempo es a través de los mensajes PTP en las interfaces Ethernet/IP.

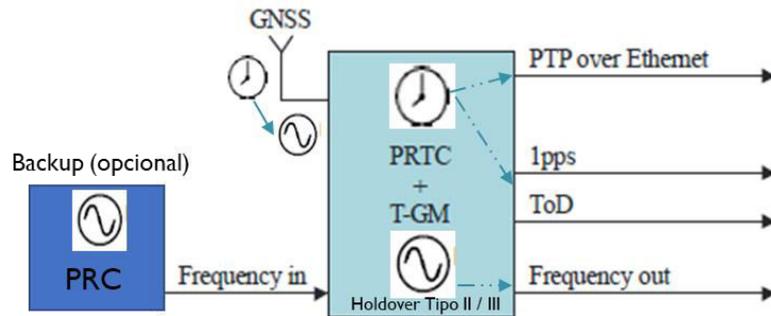
Relojes de Sincronismo de Fase / Tiempo

➤ Relojes de Sincronismo de Fase/Tiempo.

✓ *PRTC (Primary Reference Time Clock):*

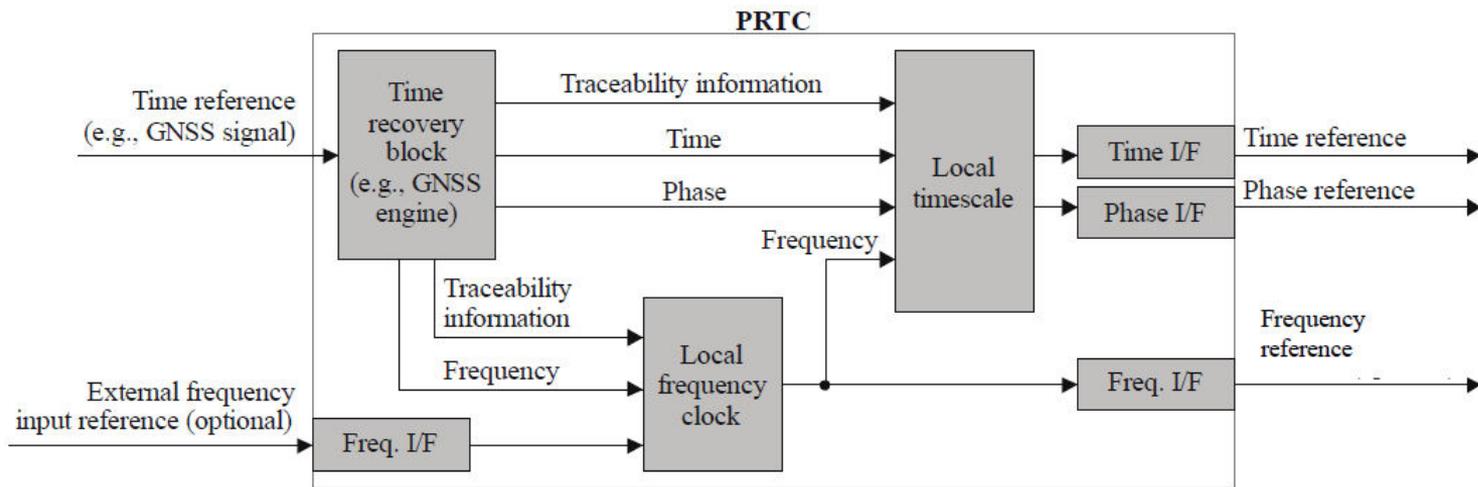
En esa escala jerárquica, el PRTC ocupa el lugar más alto en la jerarquía y es un reloj subordinable a una referencia de Tiempo (UTC – GNSS) y opcionalmente como referencia secundaria, un PRC de frecuencia a fin de suplir fallos de corto periodo en el GNSS.

En general un PRTC viene integrado a un T-GM (Telecom Grand Master) cuya función es encapsular los mensajes de tiempo obtenidos del PRTC en las interfaces Ethernet



Relojes de Sincronismo de Fase / Tiempo

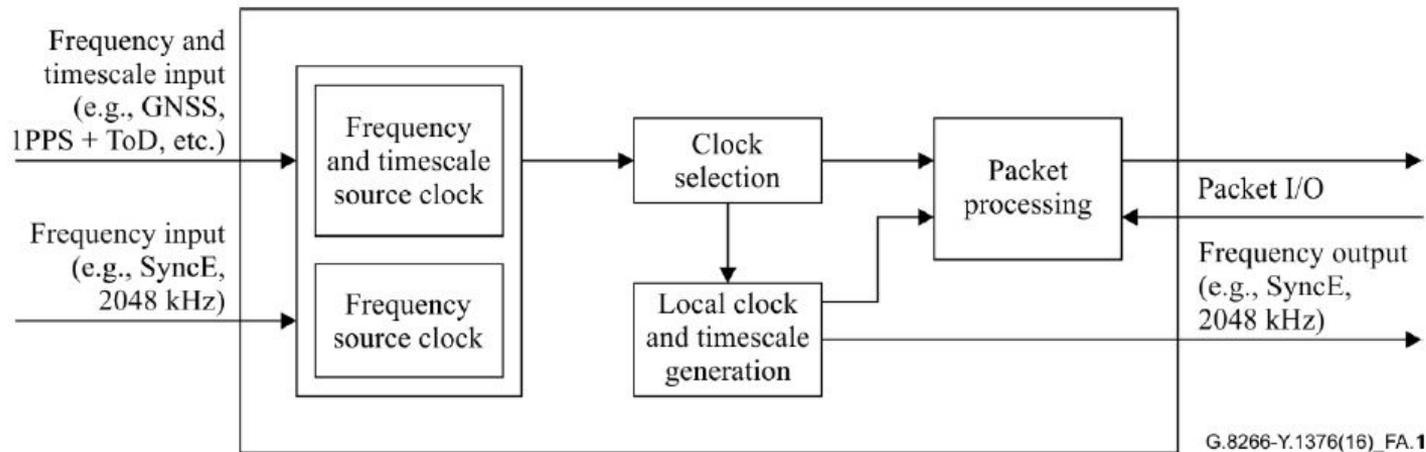
- *Diagrama funcional PRTC*



G.8272-Y.1367(12)_FIL.1

Relojes de Sincronismo de Fase / Tiempo

- *Diagrama funcional de T-GM.*



Relojes de Sincronismo de Fase / Tiempo

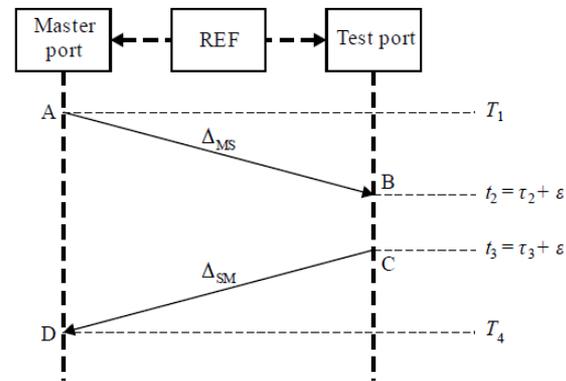
✓ *Telecom Boundary Clock (T-BC).*

Es un reloj que se emplaza dentro del equipo de transporte cuya función es “corregir” el reloj con la introducción de un error máximo conocido.

Este reloj tiene una cara “esclavo” hacia un T-GM u otro T-BC y otra cara máster hacia el reloj “esclavo”

La corrección del tiempo (debido a la propagación), se realizará en la cara “esclavo” del T-BC a partir de la “media” entre las diferencias de tiempo en cada sentido.

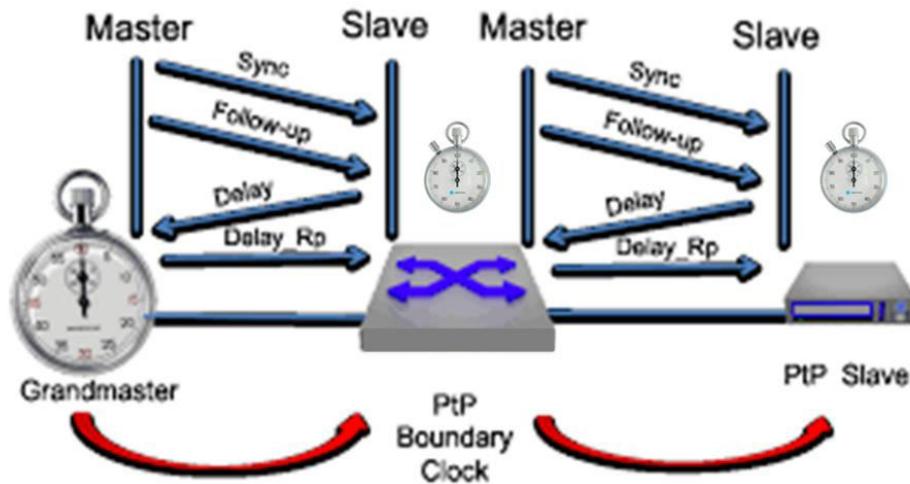
Es claro que cualquier *asimetría en la red de transporte* (delay adicional en uno de los sentidos) será un error propio que el protocolo no puede corregir.



Relojes de Sincronismo de Fase / Tiempo

- *Esquema General de mensajes PTP en Boundary Clock*

El reloj esclavo (T-TSC) desde el punto de vista tecnológico es similar al T-BC pero sin la etapa de generación (master) de mensajes PTP.



Exactitud frecuencia T-BC y T-TSC en freerunning: +/-4,6 ppm

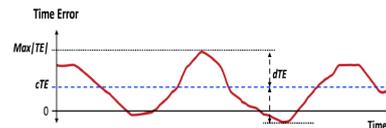
Relojes de Sincronismo de Fase / Tiempo

✓ Especificación Telecom Boundary Clock (T-BC) y Esclavo (T-TSC) - FTS.

Se encuentra especificado en la Rec. ITU-T G.8272.2 y aplica a arquitectura Full Time Support G.8275.1.

Esta misma especificación se aplica a relojes esclavos (T-TSC).

De acuerdo a sus valores máximo de error se los divide en Clases.



	Clase A [nseg]	Clase B [nseg]	Clase C [nseg]	Clase D [nseg]
Max TE	100	70	30	No definido aún
cTE	+/-50	+/-20	+/-10	+/-5 (*)
dTE _L (**)	40	40	10	No definido aún
dTE _H (***)	70	70	No definido aún	No definido aún

(*) $\text{Max}|TE|_L$ a través de filtro pasabajos de 0,1Hz

(**) MTIE con una ventana de 10,000 seg

(***) MTIE con una ventana de 1,000 seg

Relojes de Sincronismo de Fase / Tiempo

- ✓ **Especificación Telecom Boundary Clock (T-BC) y Esclavo (T-TSC) - FTS.**
- Performance de T-BC/T-TSC clases A y B con asistencia de frecuencia de capa física durante la pérdida de referencia de entrada PTP.

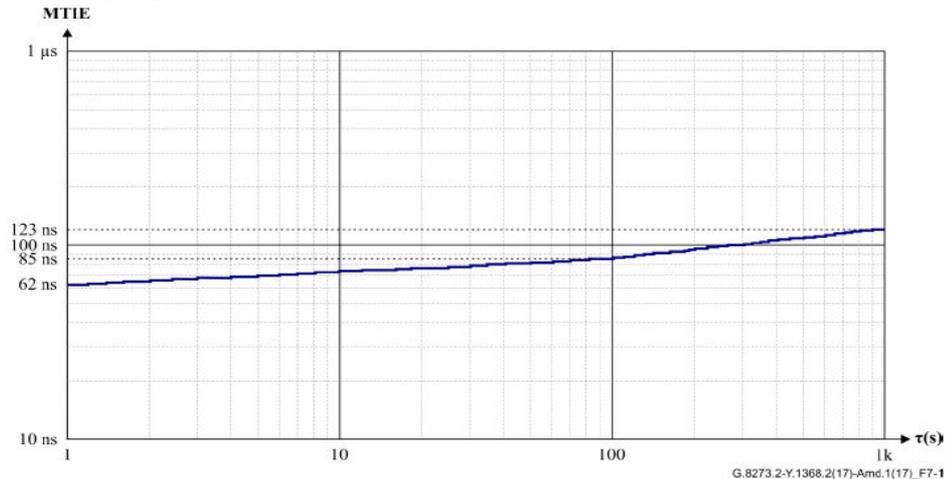
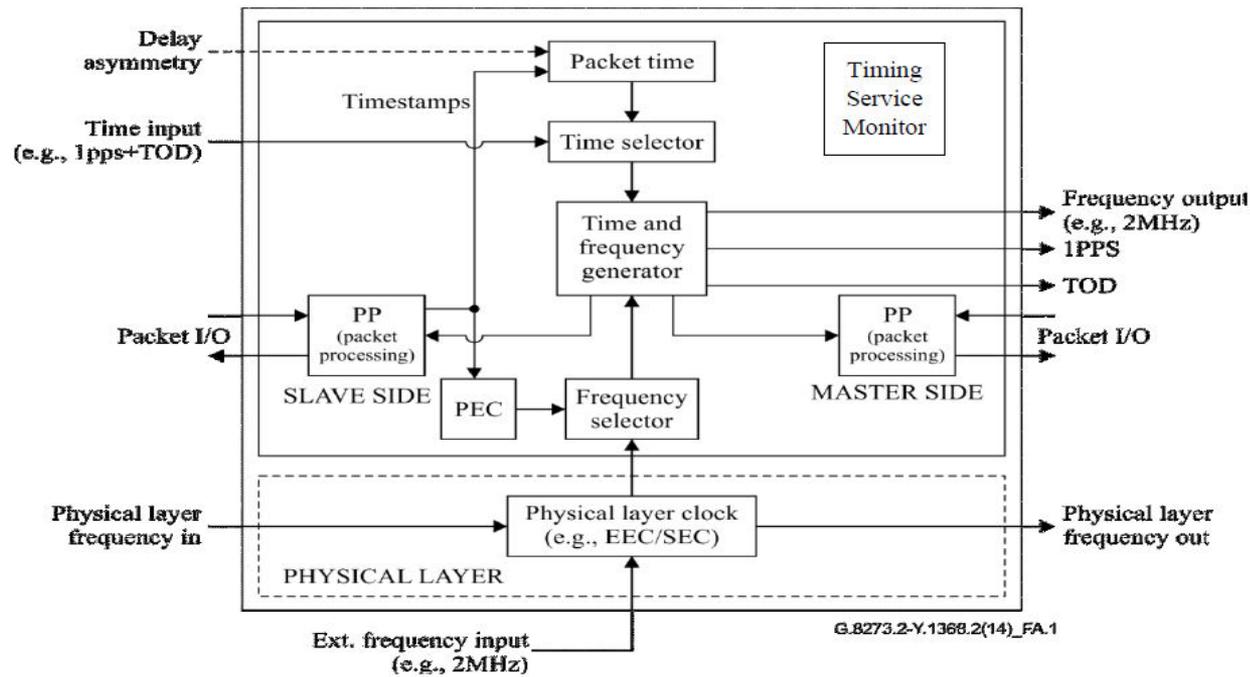


Figure 7-1 – Performance allowance during loss of PTP input (MTIE) for T-BC/T-TSC with constant temperature

Relojes de Sincronismo de Fase / Tiempo

- Diagrama funcional



Relojes de Sincronismo de Fase / Tiempo

✓ *Especificación Telecom Boundary Clock (T-BC) y Esclavo (T-TSC) - PTS*

Se encuentra especificado en la Rec. ITU-T G.8272.4 y aplica una arquitectura Partial Time Support G.8275.2.

Esta misma especificación se aplica a relojes esclavos (T-TSC).

Recordemos que en esta arquitectura G8275.2, el soporte de frecuencia no es mandatorio, por lo cual tendrá características distintas a los FTS.

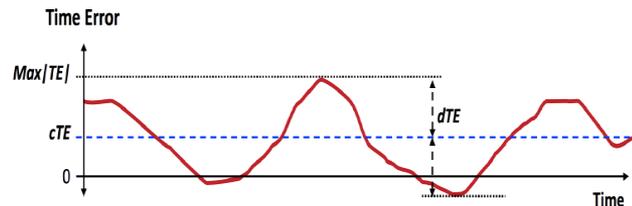
Como se vio antes, en estos relojes hay dos variantes. Asistidos por GNSS (A) y no asistidos (P).

Exactitud frecuencia T-BC y T-TSC en freeruning: +/-4,6 ppm

Relojes de Sincronismo de Fase / Tiempo

✓ Especificación Telecom Boundary Clock (T-BC) y Esclavo (T-TSC) - PTS.

	Clase A [nseg]	Clase B [nseg]
Max TE	Futuro estudio	Futuro estudio
cTE	+/-50	+/-20
dTEL	50 (A) / 200 (P)	50 (A) / 200 (P)
dTEH	Futuro estudio	Futuro estudio



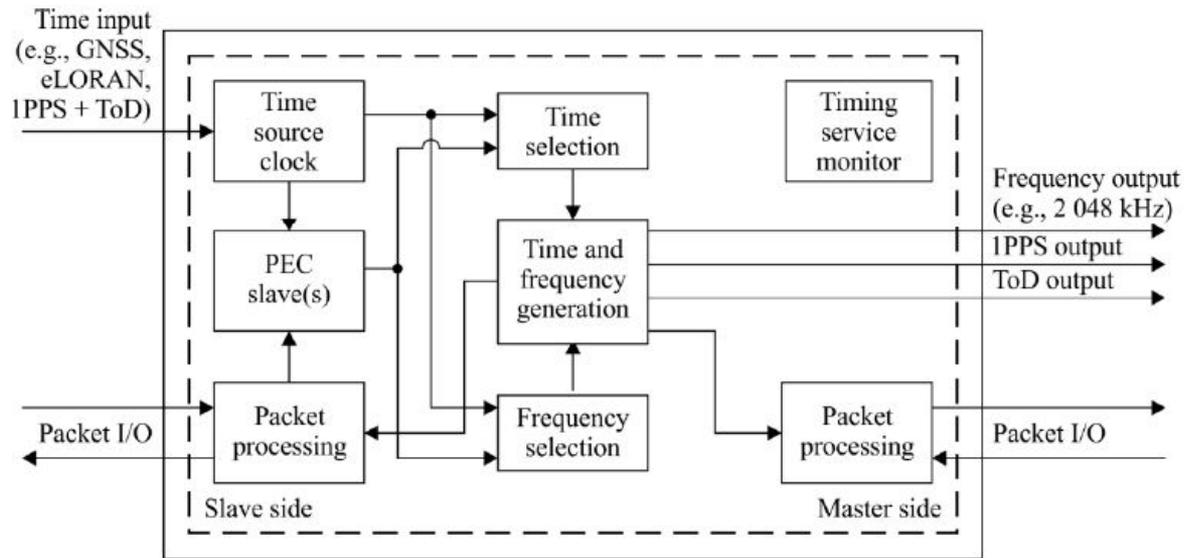
- Performance de T-BC-A/T-TSC-A durante la pérdida de referencia de GNSS y asistencia de PTP Backup.

MTIE limit (ns)	Observation interval τ (s)
$200 + c$	$1 \leq \tau \leq 1\ 000$

Here $c = 22$ ns (see Note 1).
 NOTE 1 – The phase offset c is associated with the phase transient response from clause 7.5.
 NOTE 2 – The main contributor to the holdover performance is the noise generation of the equipment clock when locked to a PTP input. The value of 200 ns is consistent with the noise generation in clause 8.2.3.

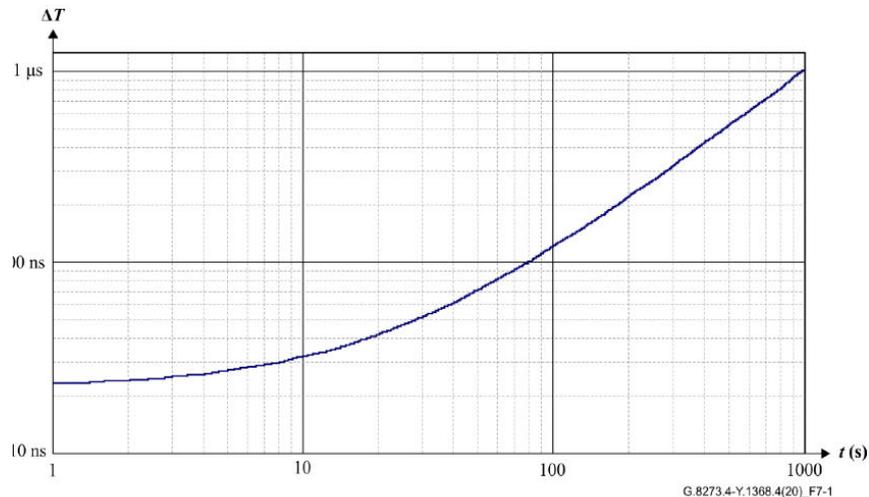
Relojes de Sincronismo de Fase / Tiempo

- *Diagrama funcional T-BC-A y T-TSC-A*



Relojes de Sincronismo de Fase / Tiempo

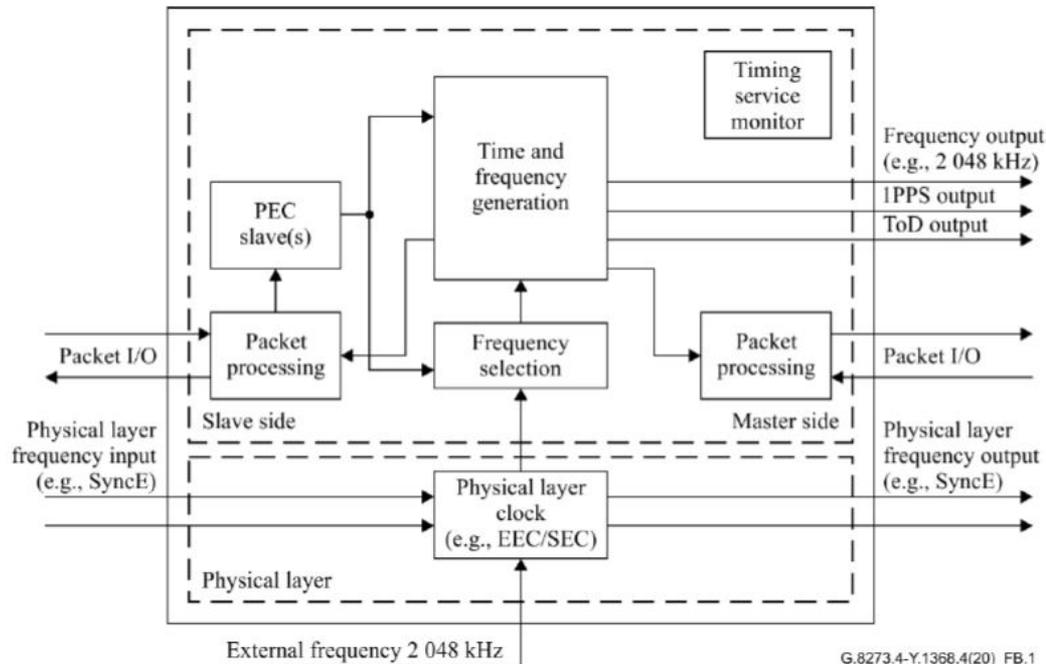
- ✓ **Especificación Telecom Boundary Clock (T-BC) y Esclavo (T-TSC) - PTS.**
- Performance de T-BC-A/P / T-TSC-A/P durante la pérdida de referencia de GNSS y sin asistencia de PTP. Oscilador Local



G.8273.4-Y.1368.4(20)_F7-1

Relojes de Sincronismo de Fase / Tiempo

- Diagrama funcional T-BC-P y T-TSC-P



Relojes de Sincronismo de Fase / Tiempo

✓ *Telecom Transparent Clock (T-TC).*

Están definidos para arquitecturas FTS y, como tal, deben tener soporte de frecuencia para su correcto funcionamiento.

A diferencia de los BC, no terminan la sesión PTP y no comienzan una nueva, sino que dentro del mismo paquete PTP que reciben, de una interfaz, insertan en el mismo paquete, el delay que ellos introducen en la traza, para que el BC o TSC distante “descuenten” este delay.

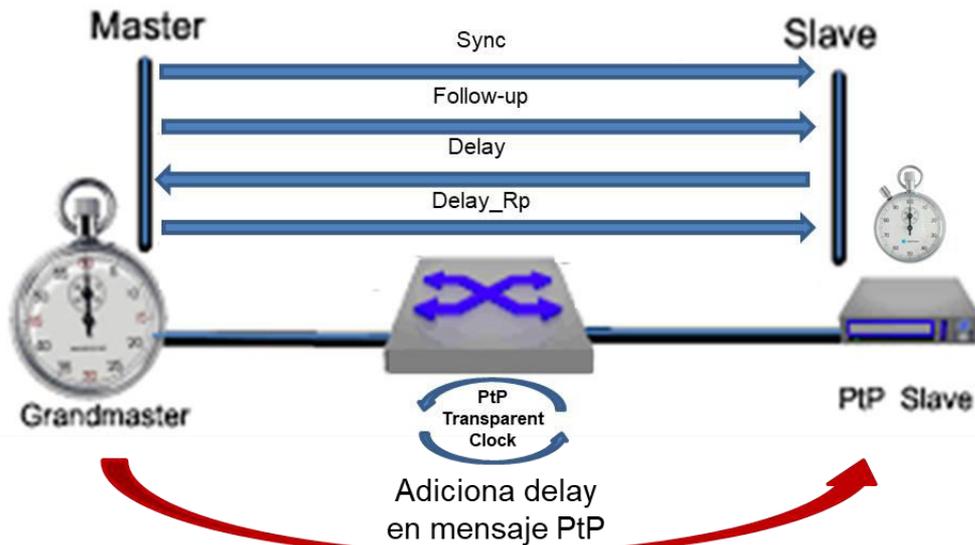
Este tipo de Reloj son utilizados en elementos que no tengan gran cantidad de interfaces como por ejemplo un radio que maneje paquetes – Radios IP que disponen una interfaz que mira a la banda base del radio y otro hacia la interfaz RF, con un delay perfectamente conocido.

Relojes de Sincronismo de Fase / Tiempo

- *Esquema General de mensajes PTP en Transparent Clock*

El PTP calcula el delay entre extremos (Grand master-Slave en este caso) agregando el delay introducido TC en un campo específico del PTP.

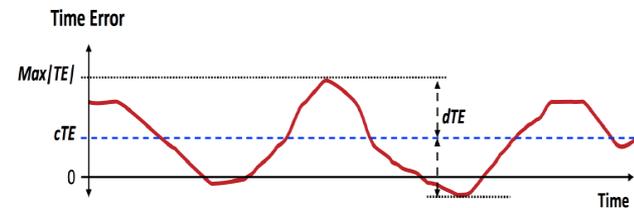
Las asimetrías aquí tampoco pueden ser compensadas.



Relojes de Sincronismo de Fase / Tiempo

✓ Especificación Telecom Transparent Clock (T-TC).

	Clase A [nseg]	Clase B [nseg]
Max TE	100	70
cTE	+/-50	+/-20
dTE _L (**)	40	40
dTE _H (***)	70	70



(**) MTIE con una ventana de 10,000 seg

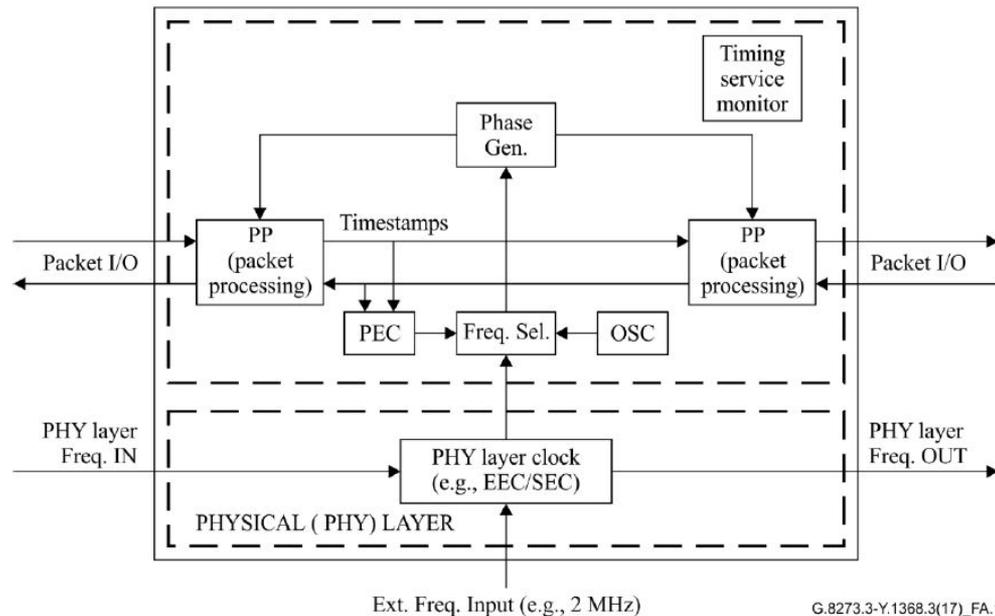
(***) MTIE con una ventana de 1,000 seg

• Performance de Holdover.

Un T-TC no soporta Holdover.

Relojes de Sincronismo de Fase / Tiempo

- *Diagrama funcional T-TC*



G.8273.3-Y.1368.3(17)_FA.1

Módulo 5

Sincronismo de Fase y Tiempo

Modos de Sincronismo de Fase y Tiempo

Arquitectura de sincronismo FTS

Arquitectura de sincronismo PTS

Parámetros y Relojes de Sincronismo de Fase y Tiempo

Time Budget en Redes de Transporte

Time Budget Sincronismo de Fase y Tiempo

✓ Tolerancia del servicio 5G en sincronismo de fase y Tiempo.

En Rec. ITU-T G.8271 se establecen distintos niveles de precisión relativos al servicio que se brinda.

En particular, esta recomendación esta alineada al 3GPP, y presenta los valores de tolerancia de sincronismo de fase y tiempo a las funcionalidades presentes en LTEA y 5G para un acceso RAN agregada como desagregada como se ha visto al inicio.

Nivel de Precisión (G.8271)	Tipo de Precisión	Error de tiempo Máximo
4	Absoluta	1,5 μ seg
4A	Relativa	3 μ seg
6A		260 nseg
6B		130 nseg
6C		65 nseg

Time Budget Sincronismo de Fase y Tiempo

✓ *Asimetrías propias de la red de transporte.*

Proviene del error que introduce la red debido a la asimetría que existen entre el camino de upstream y downstream de los mensajes PTP.

$$\text{Offset} = \frac{1}{2} ((t_2 - t_1) - (t_4 - t_3)) \Rightarrow \text{Phase Error}$$

Se lista a continuación los errores más significativos en orden de prelación:

- a) Bundle de Interfaces IP con diferente camino físico y sin Ingeniería de Tráfico –TE → (IP).
- b) Bundle mixtos IP (interfaces de diferentes velocidades de interfaz) y sin TE → (IP).
- c) Re enrutamiento de paquetes IP en caso de falla o restart → (IP)
- d) PDV debido a cambios del patrón de tráfico / congestión → (IP)
- e) Asimetría debido a componentes activos y pasivos de equipos → (DWDM)
- f) Diferencia de longitud de FO entre Upstream y Downstream → (IP/Eth/DWDM)
- g) Diferencia de longitud de onda entre camino Upstream y Downstream → (IP/Eth/DWDM)

Time Budget Absoluto Sincronismo de Fase y Tiempo

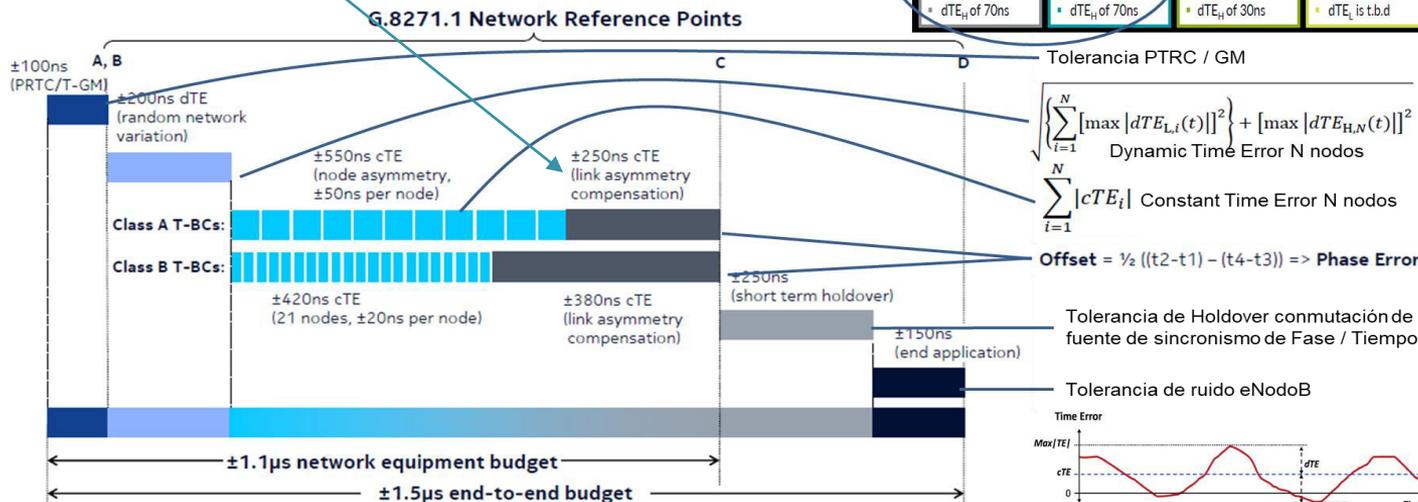
✓ Time Budget Arquitectura ITU-T G.8275.1 para 5G

cTE Asimetría Links:

Lista de asimetrías Eth y DWDM

Relojes de Transporte

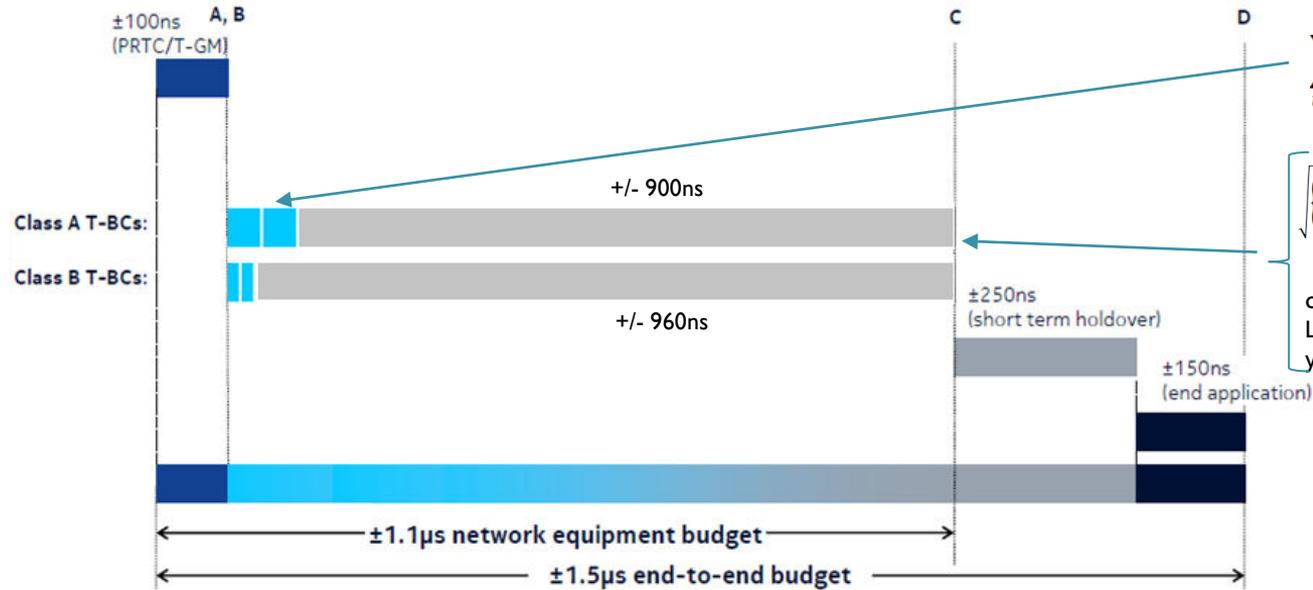
Class A	Class B	Class C	Class D
• max TE of 100ns	• max TE of 70ns	• max TE of 30ns	• max TE is t.b.d.
• cTE of ±50ns	• cTE of ±20ns	• cTE of ±10ns	• max TE of 5 ns
• dTE _h of 40ns	• dTE _h of 40ns	• dTE _h of 10ns	• cTE is t.b.d.
• dTE _l of 70ns	• dTE _l of 70ns	• dTE _l of 30ns	• dTE _l is t.b.d.



Time Budget Absoluto Sincronismo de Fase y Tiempo

✓ Time Budget Arquitectura ITU-T G.8275.2 para 5G

G.8271.1 Network Reference Points



Class A	Class B
• max TE is t.b.d.	• max TE is t.b.d.
• cTE of $\pm 50\text{ns}$	• cTE of $\pm 20\text{ns}$
• dTE_{e_i} of $\pm 50\text{ns}$	• dTE_{e_i} of $\pm 50\text{ns}$
• dTE_{e_i} is t.b.d.	• dTE_{e_i} is t.b.d.

$$\sum_{i=1}^N |cTE_i|$$

Constant Time Error N nodos

$$\left\{ \sum_{i=1}^N [\max |dTE_{L,i}(t)|]^2 \right\} + [\max |dTE_{H,N}(t)|]^2$$

Dynamic Time Error N nodos

cTE Asimetría Links:
Lista de asimetrías IP, Eth
y DWDM



Fin de Curso

Ing. Daniel Torrabadella
daniel.torrabadella@gmail.com