

Summit Energy Automation II

Conecta, aprende y transforma

2024

Latencia y sincronización de tiempo



Para conseguir eficiencia en los servicios la sincronización de todos los componentes de la red juega un papel notorio. Existen varios mecanismos de sincronización, siendo los tipos *Simple Network Time Protocol (SNTP)*, *Network Time Protocol (NTP)*, *IRIG-B*, *PPS* y *Precision Time Protocol (PTP)* los más comunes.



IRIG-B

Inter-Range
Instrumentation
Group



El método de sincronización horaria más utilizado en las subestaciones.



Se transmite como impulsos brutos a través de cables de cobre (coaxial o par trenzado) y cables de fibra óptica.



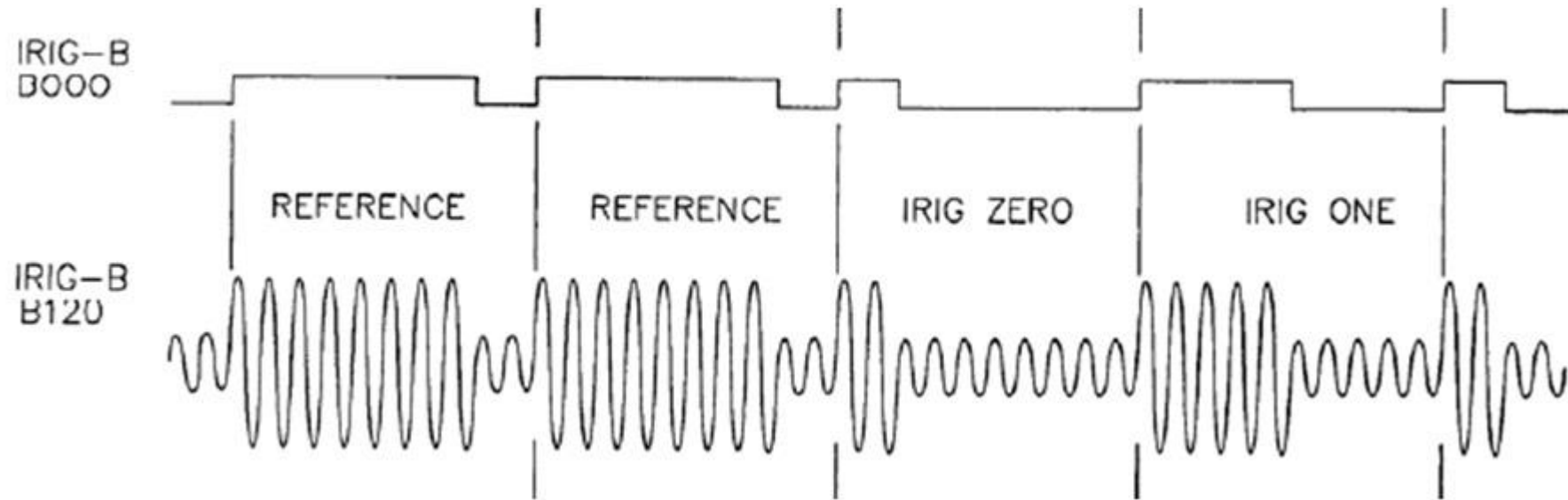
IRIG-B no modulado es capaz de una precisión de menos de microsegundos y modulado de unos 40uS.



Tiene una serie de opciones para la forma en que se formatea y transmite el código de tiempo.



La última norma es de 2004. Con una revisión de 2016, esta sólo corrige algunos errores menores.



- ⌚ El estándar A envía 10 tramas por segundo a una velocidad de un bit por milisegundo
- ⌚ El estándar B envía una trama por segundo a una velocidad de un bit cada 10 milisegundos
- ⌚ El estándar D (el más lento) envía una trama por hora a una velocidad de un bit por minuto
- ⌚ El estándar E envía una trama cada 10 segundos a una velocidad de un bit cada décima de segundo
- ⌚ El estándar G (el más rápido) envía 100 tramas por segundo a una velocidad de un bit cada décima de milisegundo
- ⌚ El estándar H envía una trama por minuto a una velocidad de un bit por segundo

PPS Un pulso por segundo



Se utiliza un pulso por segundo (1-PPS) para proporcionar una referencia de sincronización precisa.



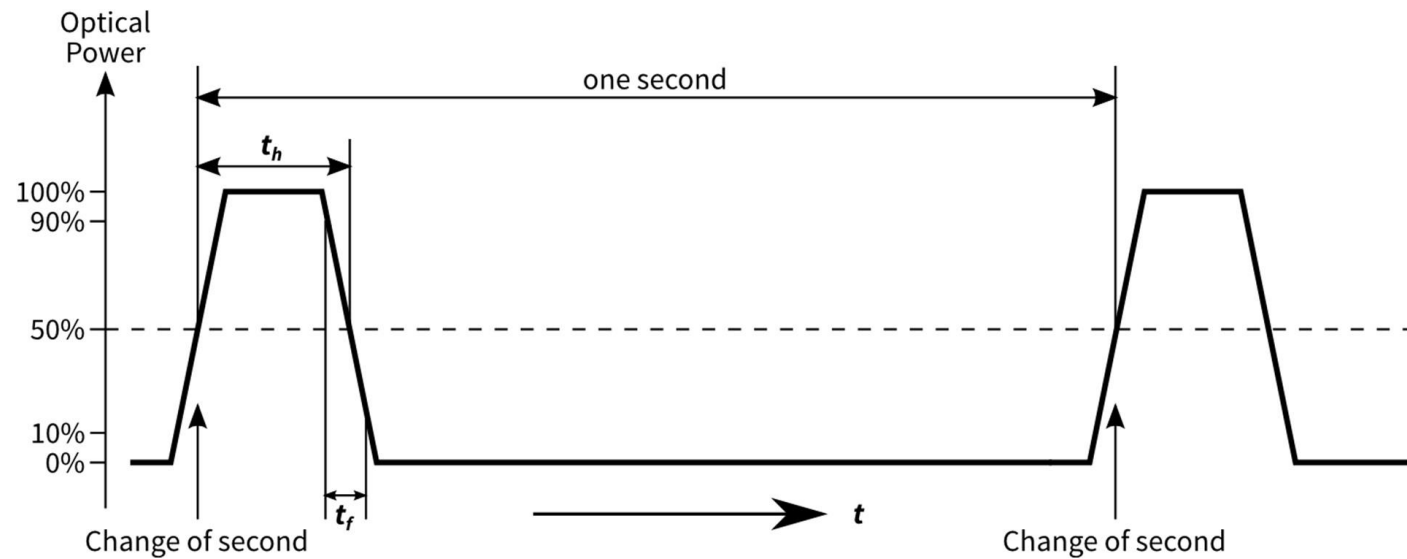
No incluye información sobre la "hora del día"



Esto es suficiente para las aplicaciones de bus de proceso de valor muestreadas.



Requiere una red dedicada, como cables de cobre (coaxiales o de par trenzado) o de fibra óptica (multimodo o monomodo)



- 🕒 El tiempo de subida y bajada (t_f) entre los niveles del 10% y el 90% debe ser inferior a 200 ns
- 🕒 el tiempo alto (t_h) debe estar comprendido entre 10 μ s y 500 ms (medido al nivel del 50%).

NTP

Network Time Protocol



Es uno de los protocolos de internet más antiguos que siguen en uso, desarrollado en 1981.



Los detalles operacionales de NTP se encuentran ilustrados en el RFC 778, RFC 891, RFC 956, RFC 958, RFC 1305



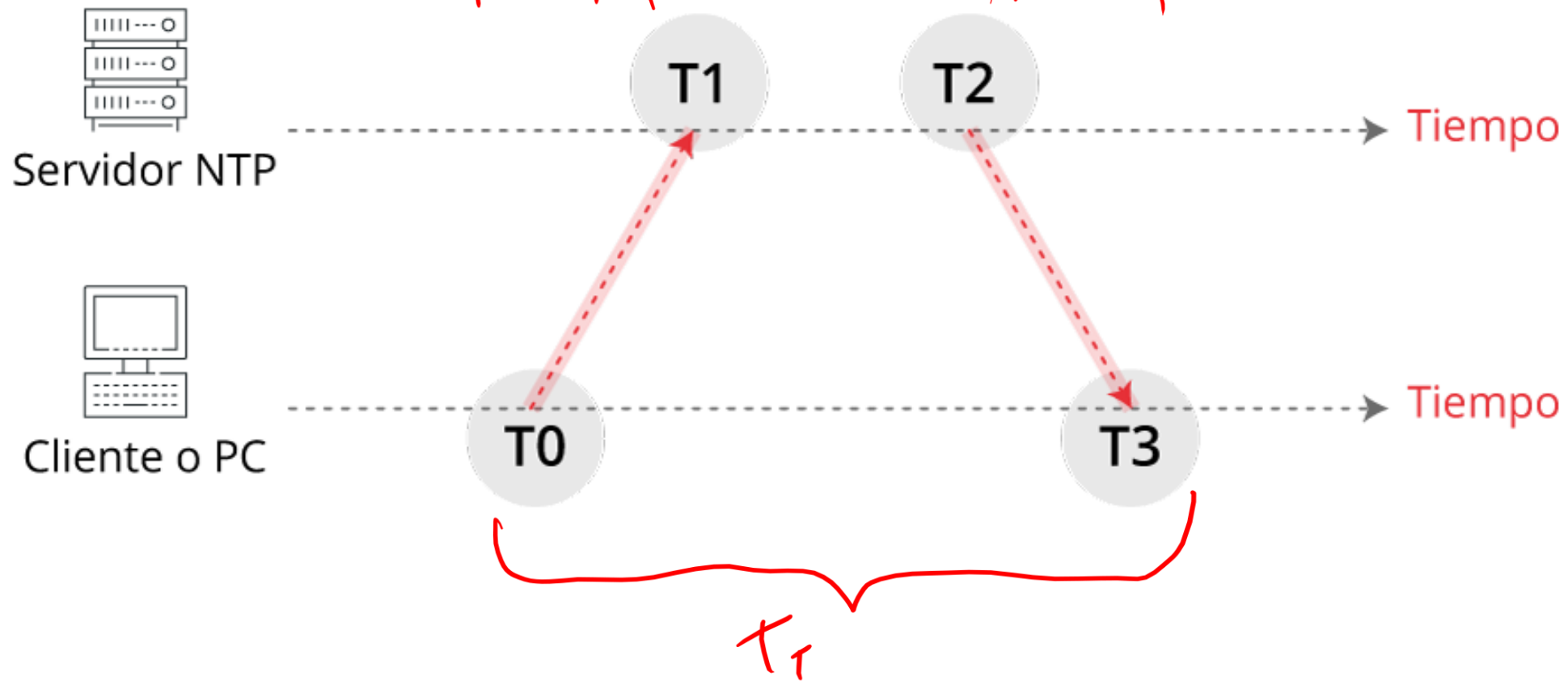
SNTP es una forma menos compleja, no requiere almacenar la información de las comunicaciones previas



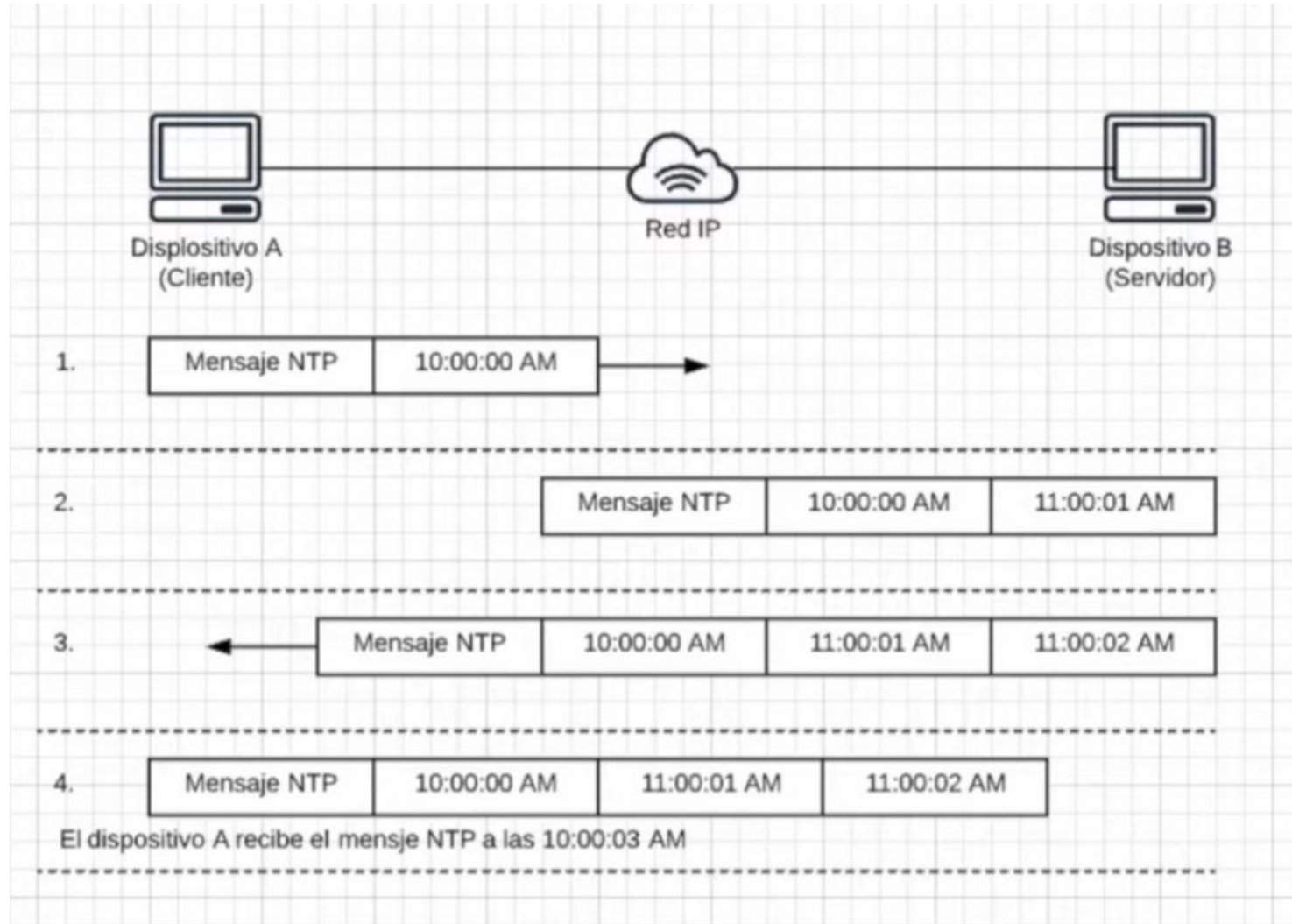
Puede mantenerse sincronizado con una diferencia máxima de 10 ms en Internet, y acercarse hasta 200 microsegundos



Como capa de transporte utiliza UDP a través del puerto 123 tanto origen y destino



$$L = \frac{(T_3 - T_0) - (T_2 - T_1)}{2}$$



Ejemplo de NTP

PTP



Estándar internacional, especificado en la norma IEEE1588.



Se revisó en 2008



Proporciona una precisión del orden de nano-segundos



Está integrado en la capa física, por lo que hablamos de horofechado



Todos los participantes (esclavos) calculan la diferencia de tiempo (retardo) entre su hora local



Se selecciona un participante para que actúe como reloj maestro y envíe mensajes de sincronización



Permite una sincronización entre distintos tipos de dispositivos de diferentes proveedores.



Permite grandes distancias entre los módulos de adquisición de datos



Uso de Ethernet como estándar



Configuración sencilla, sin administración



Resistente a fallos del maestro (esclavos inteligentes)

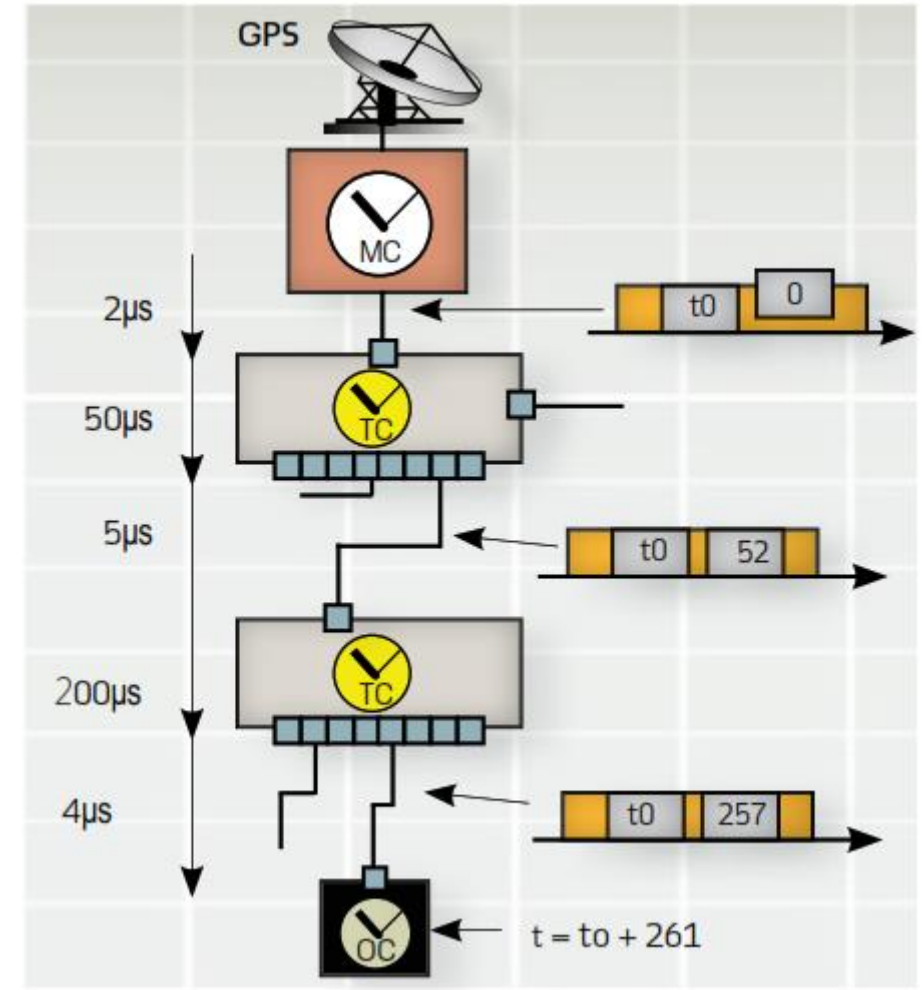
¿Qué ventajas presenta el PTP?

- PTP trabaja con un paradigma maestro-esclavo, en lugar de cliente-servidor. En otras palabras, la transferencia de tiempo la inicia el dispositivo que tiene el reloj del sistema. Esto permite que algunos dispositivos esclavos tengan una implementación muy simple.
- PTP es un protocolo genérico que puede ejecutarse en muchos tipos de redes, incluidas IP / Ethernet, Ethernet, ProfiNet y DeviceNet. Se esperan más asignaciones de red en el futuro.
- PTP no especifica el comportamiento del esclavo, por lo que el comportamiento del esclavo puede variar ampliamente de una implementación a otra.
- PTP permite una amplia gama de velocidades de actualización para adaptarse a diferentes aplicaciones.
- PTP incluye la opción de sellado de tiempo de hardware del momento de llegada y salida de mensajes para una mayor precisión.

- Una red PTP basada en hardware es más precisa que una red PTP basada en software.
- El software que se ejecuta en los equipos puede lograr la sincronización en un rango de 10 a 100 microsegundos.
- En un sistema basado en hardware, un servidor de reloj PTP con marca de tiempo de hardware y dispositivos esclavos contenidos en cada equipo en red puede lograr la sincronización a dentro de nanosegundos.
- Esto es 1.000 veces más preciso que un enfoque basado en software.



- Es requerida una medición precisa del retardo de la trayectoria de comunicación entre la fuente de tiempo (maestro) y el receptor (esclavo).
- Se envía los mensajes entre el dispositivos para determinar la medida del retardo.
- PTP ajusta la información de tiempo actual con el retraso calculado, lo que resulta en información de tiempo más precisa.
- El tiempo de retardo unidireccional se calcula promediando el retardo de trayecto de los mensajes de transmisión y recepción.
- PTP proporciona un método, usando los relojes transparentes, para medir y tener en cuenta el retardo en un switch.
- Un reloj transparente de extremo a extremo reenvía todos los mensajes en la red de la misma manera que lo hace un Switch.



- **Reloj Grandmaster**

Es la fuente primaria para la sincronización del reloj usando el PTP.

- **Reloj ordinario**

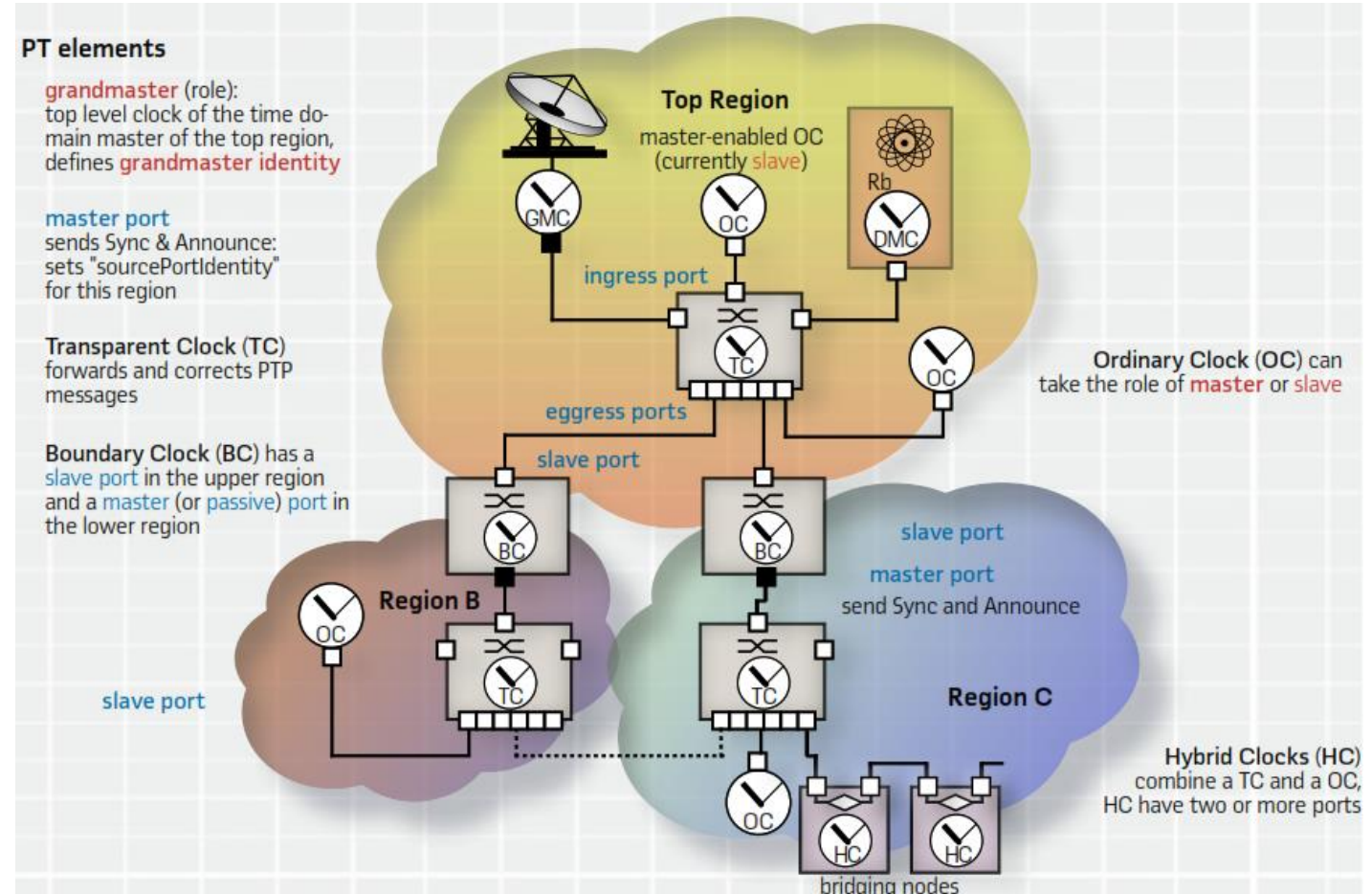
Solo tiene un puerto PTP. Funciona como maestro o esclavo. Se utilizan como nodos finales en una red de dispositivos que requieren sincronización.

- **Reloj de límite**

Actúa como enrutador PTP. Tienen más de un puerto PTP, y cada puerto puede proporcionar acceso a diferentes dominios y sincronizan en forma independiente cada dominio donde actúa como esclavo.

- **Reloj transparente**

Actualiza el intervalo de tiempo que forma parte del mensaje PTP mientras atraviesa el switch. Esta actualización compensa el retardo del switch y tiene una precisión picosegundos. Hay dos tipos **E2E P2P**



Nota: Un dispositivo en la práctica puede implementar varios tipo de roles

El mejor algoritmo de reloj maestro (BMCA)

Master Clock Property	Announce Message Representation	Notes
Priority 1 field	0-255 (decimal)	User-configured. Purpose is to bypass the BMCA.
Clock class	0-255 (decimal)	Lower values means better master clock 6 = Locked primary reference clock 7 = PRC unlocked, but still in spec 13 = Locked to app-specific timescale
Clock accuracy	0-FF (Hex)	20 = The time is accurate to within 25 ns 21 = The time is accurate to within 100 ns 30 = The time is accurate to within 10 s 31 = The time is accurate to >10 s FE = Unknown accuracy Other values reserved for future use or for profiles
Clock variance (frequency stability)	0-FFFF (Hex)	Lower value indicates a better frequency stability Offset log (base 2) scaled variable Based on Allan Variance over Sync Interval
Priority 2 field	0-255 (decimal)	User-configured. Purpose is to select priority among equivalent clocks.
Clock identity	64 bits	Must be a unique number. Often set to a ports Ethernet MAC address.



Garantiza que solo haya un gran maestro en una red. Para comprender cómo funciona el BMCA, considere el comportamiento de un reloj ordinario que se enciende en la red. En la ilustración muestra un diagrama de estado de un reloj ordinario.

Clock Class

clockClass (decimal)	Specification
0	Reserved to enable compatibility with future versions.
1–5	Reserved.
6	Shall designate a clock that is synchronized to a primary reference time source. The timescale distributed shall be PTP. A clockClass 6 clock shall not be a slave to another clock in the domain.
7	Shall designate a clock that has previously been designated as clockClass 6 but that has lost the ability to synchronize to a primary reference time source and is in holdover mode and within holdover specifications. The timescale distributed shall be PTP. A clockClass 7 clock shall not be a slave to another clock in the domain.
8	Reserved.
9–10	Reserved to enable compatibility with future versions.
11–12	Reserved.
13	Shall designate a clock that is synchronized to an application-specific source of time. The timescale distributed shall be ARB. A clockClass 13 clock shall not be a slave to another clock in the domain.
14	Shall designate a clock that has previously been designated as clockClass 13 but that has lost the ability to synchronize to an application-specific source of time and is in holdover mode and within holdover specifications. The timescale distributed shall be ARB. A clockClass 14 clock shall not be a slave to another clock in the domain.
15–51	Reserved.
52	Degradation alternative A for a clock of clockClass 7 that is not within holdover specification. A clock of clockClass 52 shall not be a slave to another clock in the domain.
53–57	Reserved.
58	Degradation alternative A for a clock of clockClass 14 that is not within holdover specification. A clock of clockClass 58 shall not be a slave to another clock in the domain.
59–67	Reserved.
68–122	For use by alternate PTP profiles.
123–127	Reserved.
128–132	Reserved.
133–170	For use by alternate PTP profiles.
171–186	Reserved.
187	Degradation alternative B for a clock of clockClass 7 that is not within holdover specification. A clock of clockClass 187 may be a slave to another clock in the domain.
188–192	Reserved.
193	Degradation alternative B for a clock of clockClass 14 that is not within holdover specification. A clock of clockClass 193 may be a slave to another clock in the domain.
194–215	Reserved.
216–232	For use by alternate PTP profiles.
233–247	Reserved.
248	Default. This clockClass shall be used if none of the other clockClass definitions apply.
249–250	Reserved.
251	Reserved for version 1 compatibility; see Clause 18.
252–254	Reserved.
255	Shall be the clockClass of a slave-only clock; see 9.2.2.

Perfiles PTP

Hay muchas otras características opcionales permitidas en PTP, incluido un mecanismo alternativo para determinar los retrasos de los cables. La amplia lista de funciones hace que PTP sea útil para una gran cantidad de aplicaciones diferentes en diferentes tipos de redes. Un perfil es un conjunto de reglas para restringir PTP para una aplicación o industria específica.

Básicamente, un perfil consta de algunas reglas de entre las siguientes categorías:

- Funciones de PTP necesarias
- Funciones PTP permitidas, pero no obligatorias
- Funciones PTP prohibidas
- Funcionalidad no PTP requerida, que está relacionada con la sincronización
- Requisitos de desempeño

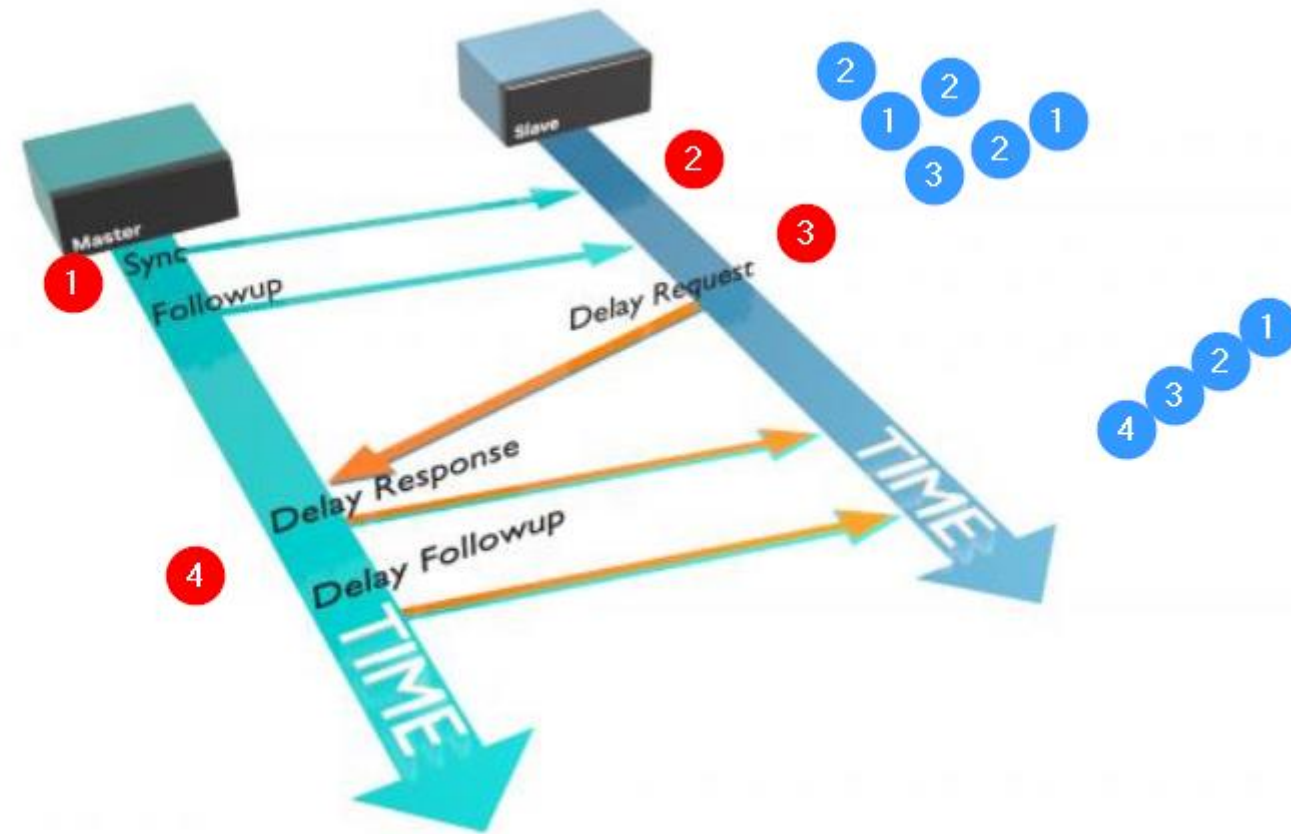
El perfil de energía se define en IEEE C37.238-2011. El perfil definió un subconjunto de PTP destinado a ejecutarse en redes de Capa 2 (es decir, Ethernet pero sin Protocolo de Internet). Este puede implementarse en redes robustas especializados de Capa 2 diseñados para alta disponibilidad, como (HSR) o (PRP). La filosofía del organismo de estándares C37.238 era minimizar el número de funciones opcionales para garantizar la interoperabilidad y el rendimiento predecible. Esto es evidente al fijar las tasas de mensajes, como se muestra en la siguiente tabla. La única opción es que se permitan relojes de dos o de un paso.

Message	Message Interval or Trigger
Announce	1 second
Sync	1 second
Follow-up (two-step clocks only)	Triggered by sync message
Peer delay request	1 second
Peer delay response	Triggered by peer delay request
Peer delay response follow-up (two-step clocks only)	Triggered by peer delay response

Se envía la siguiente secuencia de mensajes.

1. El maestro envía un mensaje de sincronización al esclavo y anota la hora (t1) a la que se envió.
2. El esclavo recibe el mensaje de sincronización y toma nota de la hora de recepción (t2).
3. El maestro transmite al esclavo la marca de tiempo t1 incrustando la marca de tiempo t1 en un mensaje Follow_Up.
4. El esclavo envía un mensaje Delay_Req al maestro y anota la hora (t3) a la que fue enviado.
5. El maestro recibe el mensaje Delay_Req y toma nota de la hora de recepción (t4).
6. El maestro transmite al esclavo la marca de tiempo t4 incrustándola en un mensaje Delay_Resp.

$$\text{Retardo} = [(t4 - t1) - (t3 - t2)] / 2$$

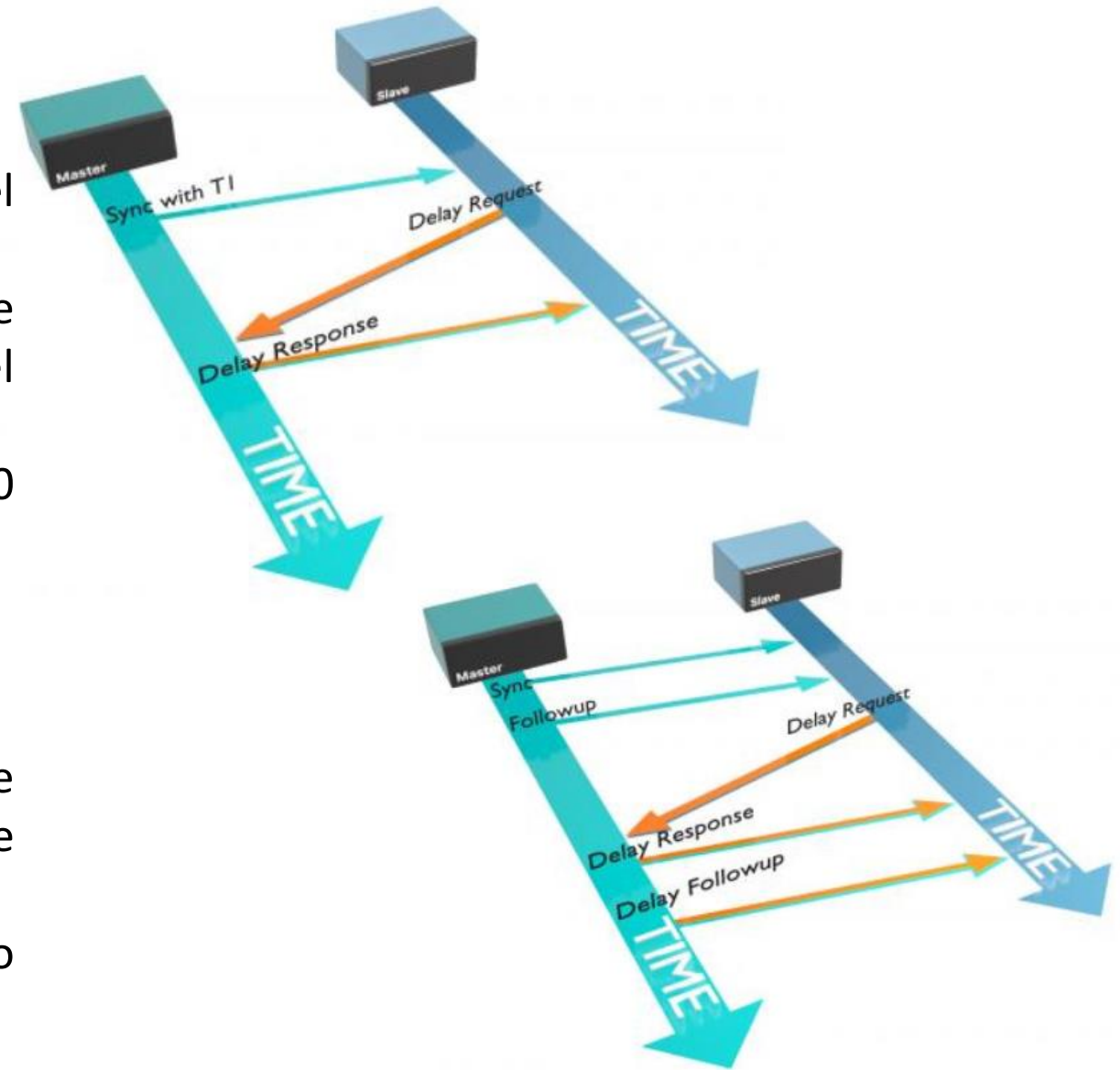


Sincronización en un paso

- Se envían menos mensajes
- El reloj debe modificar la marca de tiempo en el mensaje sobre la marcha.
- La marca de tiempo debe estar disponible cuando se codifica el mensaje y puede retrasar el mensaje.
- Limita a conexiones Ethernet a menos de 10 Gigabit debido a este retraso.
- Se requiere mejor hardware

Sincronización en dos pasos

- Envía la marca de tiempo en un mensaje independiente después del mensaje de sincronización.
- Es la única opción en conexiones de 10 Gigabit o superiores.

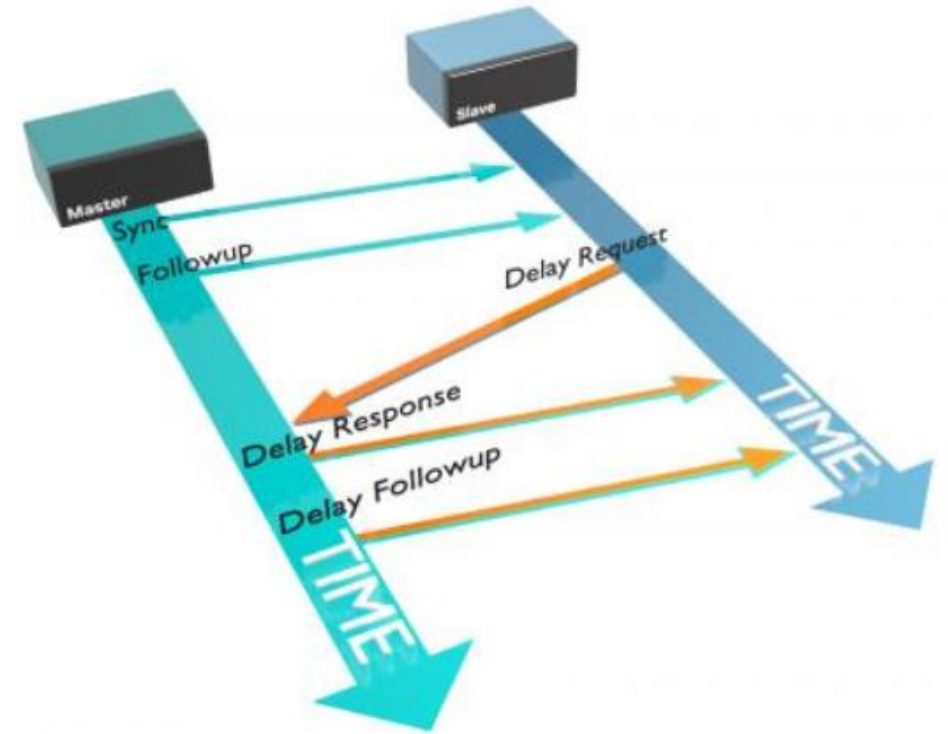


Miden el tiempo para los mensajes SYNC y DELAY_REQUEST.

Este tiempo de tránsito medido se añade a un campo de datos (*campo de corrección*) en los mensajes correspondientes:

- El tiempo de tránsito medido de un mensaje SYNC se añade al campo de corrección del mensaje SYNC o FOLLOW_UP correspondiente.
- El tiempo de tránsito medido de un mensaje de DELAY_REQUEST se añade al campo de corrección del mensaje de DELAY_RESPONSE correspondiente.

El esclavo utiliza esta información al determinar el desplazamiento entre el tiempo del esclavo y el del maestro. Los relojes transparentes E2E no proporcionan la corrección para el retardo de propagación del link sí mismo.

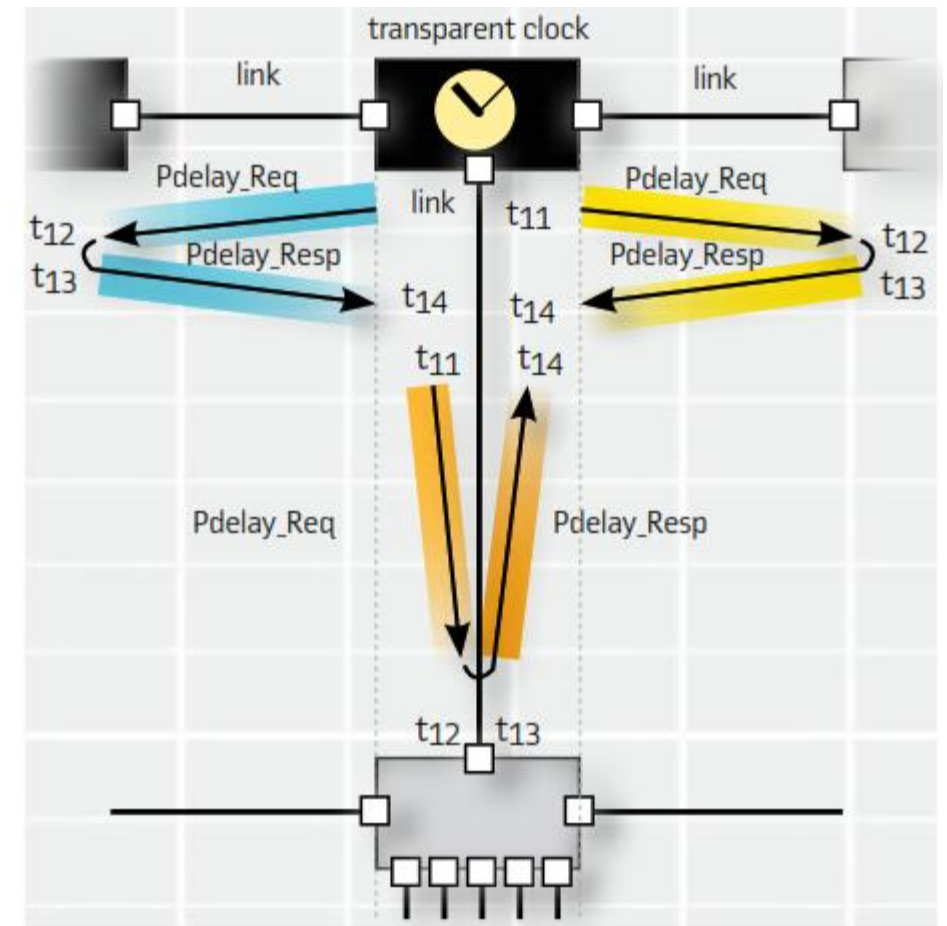


miden el tiempo de tránsito del mensaje del evento PTP de la misma manera que los relojes transparentes E2E.

Además, los relojes transparentes P2P miden el retardo del link ascendente.

El retardo del link ascendente es el retardo estimado de la propagación del paquete entre el reloj transparente P2P del vecino ascendente y el reloj transparente P2P bajo consideración.

Estas dos veces (tiempo de tránsito del mensaje y tiempo de retardo del link ascendente) se agregan al campo de corrección del mensaje de evento PTP, y el campo de corrección del mensaje recibido por el esclavo contiene la suma de todos los retardos del link. En teoría, este es el retardo total de extremo a extremo (del maestro al esclavo) del paquete SYNC.

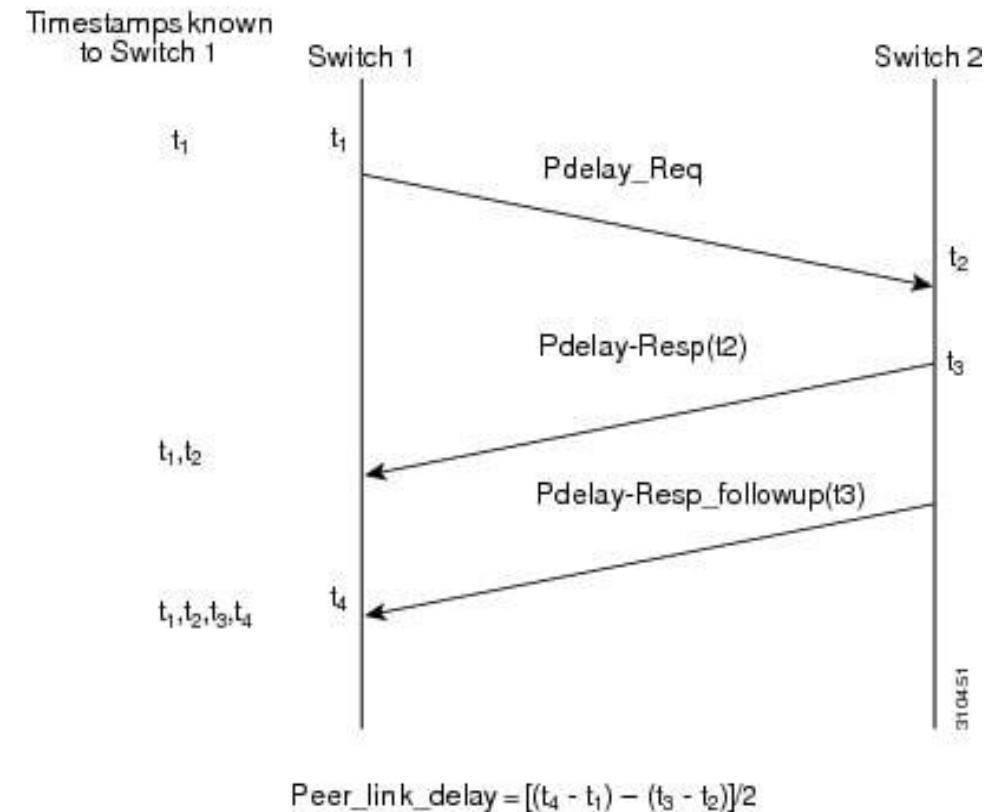


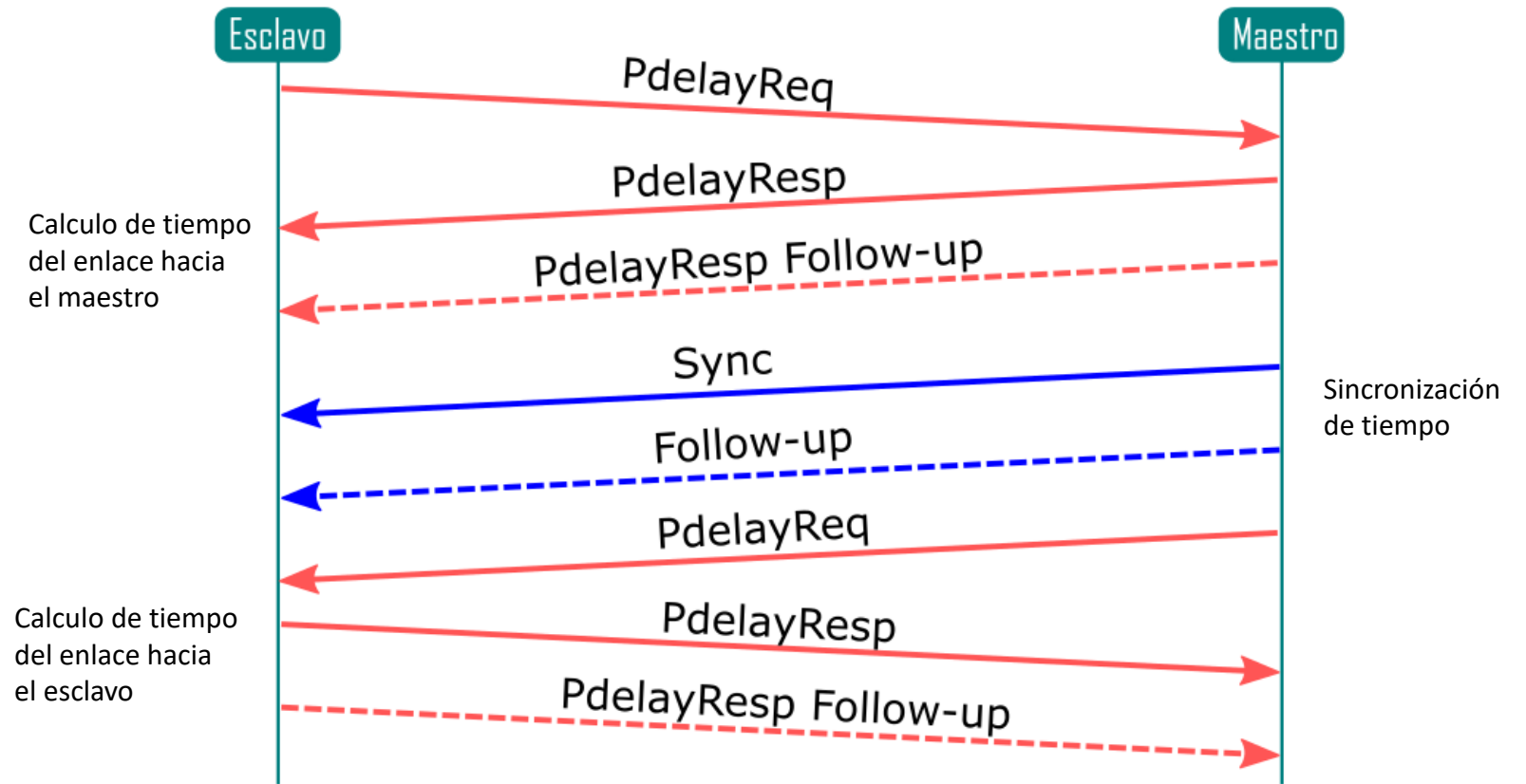
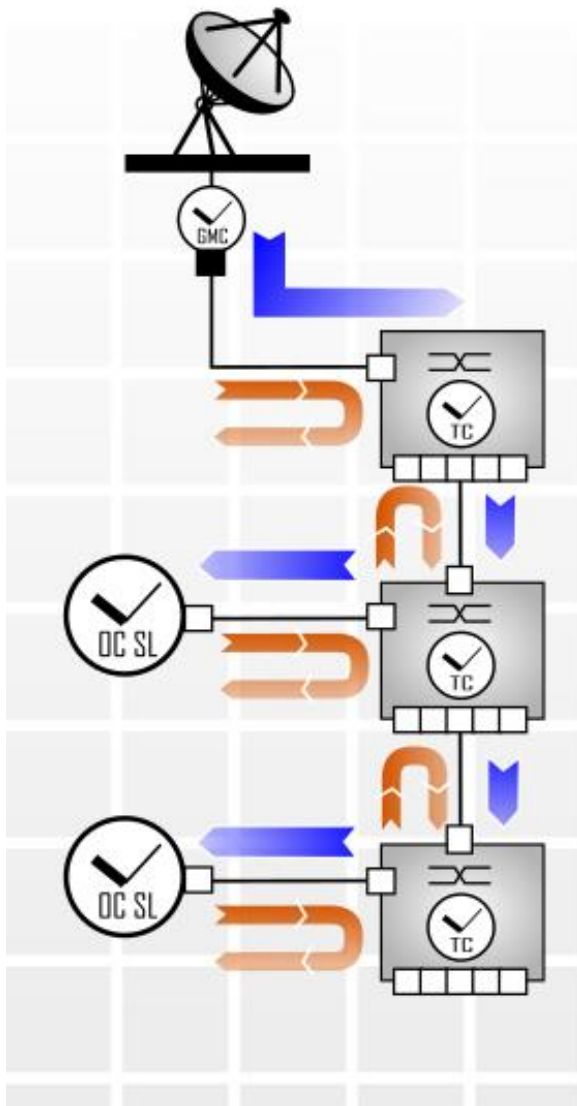
miden el tiempo de tránsito del mensaje del evento PTP de la misma manera que los relojes transparentes E2E.

Además, los relojes transparentes P2P miden el retardo del link ascendente.

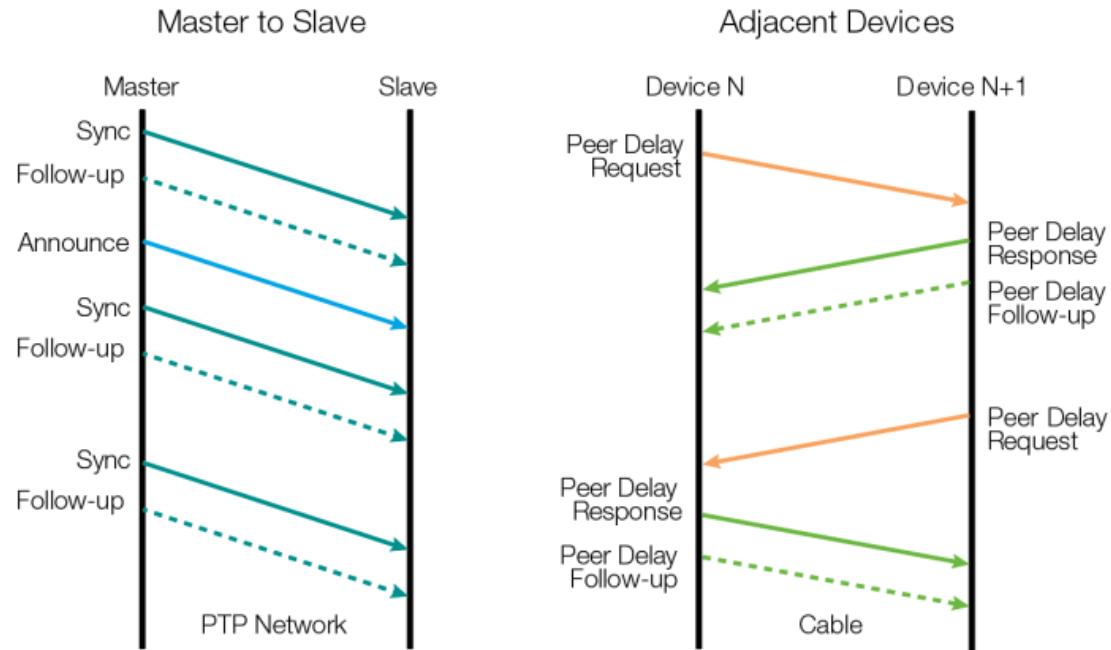
El retardo del link ascendente es el retardo estimado de la propagación del paquete entre el reloj transparente P2P del vecino ascendente y el reloj transparente P2P bajo consideración.

Estas dos veces (tiempo de tránsito del mensaje y tiempo de retardo del link ascendente) se agregan al campo de corrección del mensaje de evento PTP, y el campo de corrección del mensaje recibido por el esclavo contiene la suma de todos los retardos del link. En teoría, este es el retardo total de extremo a extremo (del maestro al esclavo) del paquete SYNC.





Los relojes transparentes peer-to-peer (P2P)



- El mensaje de sincronización contiene el tiempo aproximado del gran maestro.
- El mensaje de seguimiento contiene un valor más preciso de cuándo salió el mensaje de sincronización del gran maestro.
- El mensaje de anuncio contiene las propiedades de un reloj con capacidad de gran maestro que se utiliza para seleccionar el mejor gran maestro para la red.

Para convertir la marca de tiempo del gran maestro en una corrección de reloj esclavo, todavía se necesita tener en cuenta el tiempo que tardó esa marca de tiempo en llegar al esclavo. Esto se logra mediante el intercambio de mensajes de retardo de pares entre dispositivos adyacentes en la red. Más específicamente, un dispositivo envía un mensaje de solicitud de retardo de pares a otro dispositivo conectado directamente a él a través de un cable. En otras palabras, es un par en la red. El par envía una respuesta de retraso del par y un mensaje de seguimiento del retraso del par.

Sincronización PTP sobre PRP



El retraso de LAN A y LAN B no es el mismo



No recibe el mismo mensaje PTP de ambos puertos, incluso cuando el origen es el mismo.



Los relojes transparentes no son compatibles con PRP y no están obligados a reenviar el RCT



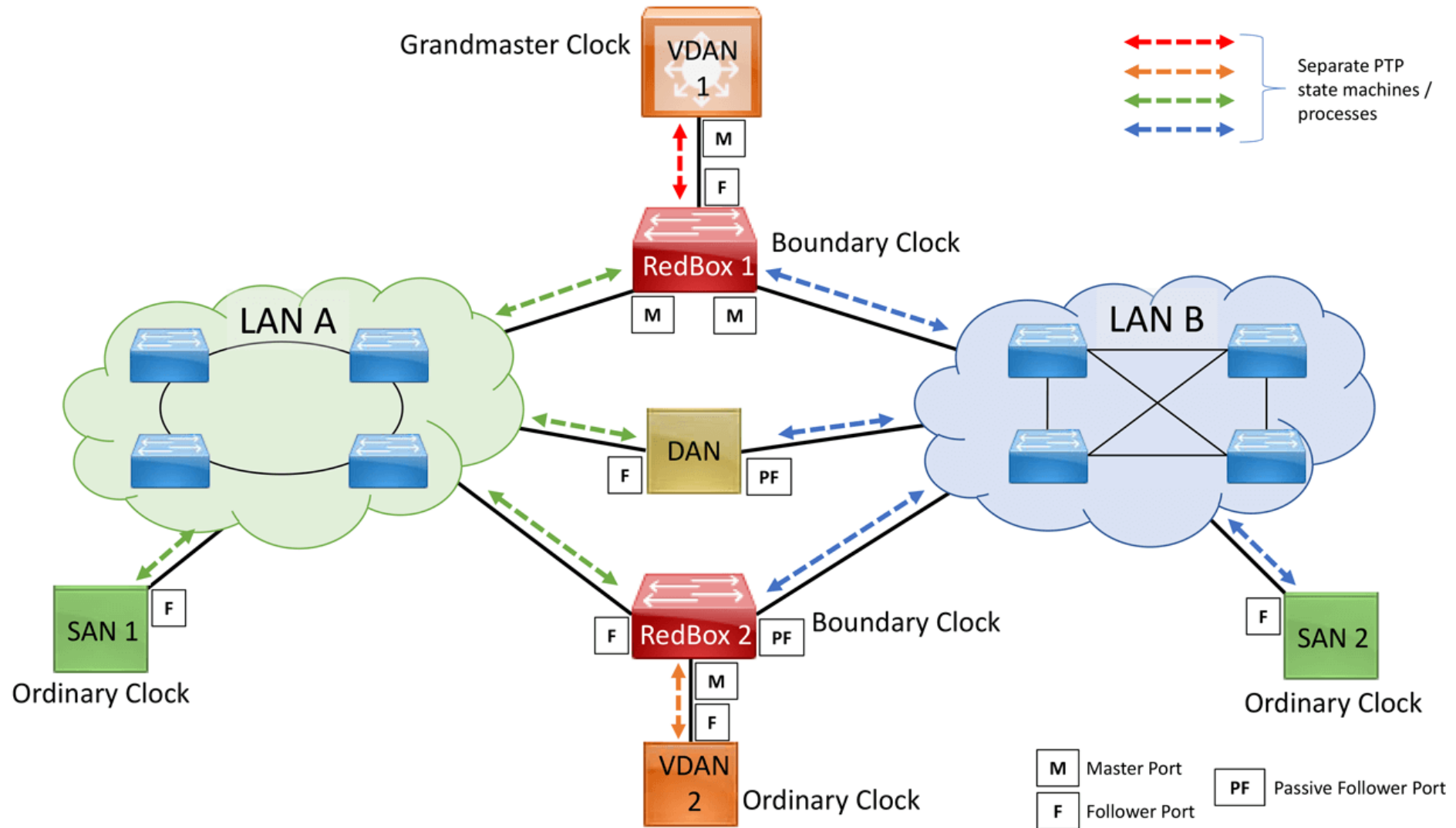
los paquetes PTP deben manejarse de manera diferente a otros tipos de tráfico.



Los paquetes PTP no deben adjuntarse con el RCT (cabecera de control de redundancia)



Los paquetes PTP omiten la lógica de duplicación y descarte de PRP.



Sincronizacion PTP sobre PRP

5.3.9 LN: Time master supervision Name: LTMS

The LN LTMS shall be used for the configuration and supervision of the time synchronization function in an IED.

LTMS class				
Data object name	Common data class	Explanation	T	M/O/C
LNName		The name shall be composed of the class name, the LN-Prefix and LN-Instance-ID according to IEC 61850-7-2, Clause 22.		
Data objects				
Status information				
TmAcc	INS	Number of significant bits in the Fraction Of Second in the time accuracy part of the time stamp. See IEC 61850-7-2.		O
TmSrc	VSS	Current time source		M
TmSyn	ENS	Time synchronized according to IEC 61850-9-2		O
TmChSt1	SPS	Time channel status (up/down)		O
Settings				
TmSrcSet1	VSG	Time source setting ("1588" in case the time source is a IEEE 1588 source or dotted IP-address)		O

Clock Class

clockClass (decimal)	Specification
0	Reserved to enable compatibility with future versions.
1–5	Reserved.
6	Shall designate a clock that is synchronized to a primary reference time source. The timescale distributed shall be PTP. A clockClass 6 clock shall not be a slave to another clock in the domain.
7	Shall designate a clock that has previously been designated as clockClass 6 but that has lost the ability to synchronize to a primary reference time source and is in holdover mode and within holdover specifications. The timescale distributed shall be PTP. A clockClass 7 clock shall not be a slave to another clock in the domain.
8	Reserved.
9–10	Reserved to enable compatibility with future versions.
11–12	Reserved.
13	Shall designate a clock that is synchronized to an application-specific source of time. The timescale distributed shall be ARB. A clockClass 13 clock shall not be a slave to another clock in the domain.
14	Shall designate a clock that has previously been designated as clockClass 13 but that has lost the ability to synchronize to an application-specific source of time and is in holdover mode and within holdover specifications. The timescale distributed shall be ARB. A clockClass 14 clock shall not be a slave to another clock in the domain.
15–51	Reserved.
52	Degradation alternative A for a clock of clockClass 7 that is not within holdover specification. A clock of clockClass 52 shall not be a slave to another clock in the domain.
53–57	Reserved.
58	Degradation alternative A for a clock of clockClass 14 that is not within holdover specification. A clock of clockClass 58 shall not be a slave to another clock in the domain.
59–67	Reserved.
68–122	For use by alternate PTP profiles.
123–127	Reserved.
128–132	Reserved.
133–170	For use by alternate PTP profiles.
171–186	Reserved.
187	Degradation alternative B for a clock of clockClass 7 that is not within holdover specification. A clock of clockClass 187 may be a slave to another clock in the domain.
188–192	Reserved.
193	Degradation alternative B for a clock of clockClass 14 that is not within holdover specification. A clock of clockClass 193 may be a slave to another clock in the domain.
194–215	Reserved.
216–232	For use by alternate PTP profiles.
233–247	Reserved.
248	Default. This clockClass shall be used if none of the other clockClass definitions apply.
249–250	Reserved.
251	Reserved for version 1 compatibility; see Clause 18.
252–254	Reserved.
255	Shall be the clockClass of a slave-only clock; see 9.2.2.