

SINCRONISMO DE RELOJ: PROTOCOLO DE PRECISION DE TIEMPO Y SU EMPLEO EN ENTORNOS IOT.

Ing. Beatriz Santander Durán

Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, ETECSA, Cuba
e-mail: beatriz.santander@etecsa.cu

RESUMEN

La implementación del Internet de las Cosas (IoT) cambiará la vida cotidiana de sus usuarios al permitir el intercambio de datos entre cosas generalizadas a través de Internet. Referente a esto, el sincronismo entre nodos es probablemente más familiar como un término usado con los relojes de pulsera, que como un término de IoT, sin embargo, el futuro de esto puede depender de este tema. En un mundo bajo demanda en el que se esperan resultados inmediatos, un mal método de sincronización en un entorno crítico puede acabar con la información creada solo unos segundos antes. El presente trabajo no trata específicamente sobre IoT, sino que expone marco de referencia sobre el empleo de un eficiente método de sincronismo en la infraestructura de red que la soportaría, ya que una mala temporización puede conducir a caídas de llamadas y de enlaces, corrupción, pérdidas y retransmisiones de datos; videos que no se reproducen, juegos interrumpidos, accidentes de autos dirigidos por GPS, entre otros ejemplos.

PALABRAS CLAVES: IoT, Sincronización, Temporización, Sincronización de Reloj, PTP.

CLOCK SYNCHRONIZATION: TIME PRECISION PROTOCOL AND ITS EMPLOYMENT IN IOT ENVIRONMENTS.

ABSTRACT

The implementation of the Internet of Things (IoT) will change the daily life of its users by allowing the exchange of data between generalized things over the Internet. Regarding this, unless you are an expert on networks, synchronization is probably more familiar as a term used with wristwatches, than as an IoT term, however, the future of this may depend on this issue. In a world on demand where immediate results are expected, a bad synchronization method in a critical environment can end the information created only a few seconds before. This presentation is not specifically about IoT, but it sets out a reference framework on the use of an efficient synchronization method in the network infrastructure that would support it since a bad timing can lead to call and link drops, corruption, data losses, and retransmissions; videos that do not play, interrupting games, car accidents directed by GPS, among other examples.

KEY WORDS: IoT, Synchronization, Timing, Clock Synchronization, PTP.

1. INTRODUCCIÓN

El Internet de las Cosas demanda una conectividad generalizada que se extienda a hogares y empresas con transmisión de datos entre dispositivos de usuario y recursos en la nube. Se conoce que para el 2020 el despliegue de tecnologías IoT permitirá conectar a unos 50.000 millones de dispositivos a la red, lo que tendrá consecuencias en casi todos los aspectos de la vida cotidiana y contribuirá a la convergencia de diferentes sectores.

Con un aumento inmenso en los despliegues, los operadores enfrentan requisitos estrictos sin precedentes a la hora de garantizar los niveles de precisión y estabilidad necesarios en sus redes de sincronización. En este entorno se necesita una forma de ofrecer de manera confiable y asequible nuevos niveles de precisión de temporización. El presente trabajo tiene como objetivo mostrar desde un punto de vista teórico el empleo de un eficiente método de sincronización

en la infraestructura de red que soportaría IoT, desde la utilización del método histórico para conocer de manera sencilla la evolución de los protocolos de sincronización de fase y tiempo en las redes de telecomunicaciones.

2. INTERNET DE LAS COSAS Y SU CONCEPTO.

De forma simple, el Internet de las Cosas es en realidad un concepto sencillo. Significa tomar todos los lugares físicos y cosas del mundo y conectarlos a Internet. Dicho de un modo más técnico, es un sistema de dispositivos de computación interrelacionados, máquinas mecánicas y digitales, objetos, animales o personas que tienen identificadores únicos y la capacidad de transferir datos a través de una red, sin requerir de interacciones humano a humano o humano a computadora. Su base teórica está en adicionar sensores y conectividad a cualquier objeto y, eventualmente, también pudiera contar con capacidades de procesamiento propias, aunque ello no es estrictamente necesario para entrar en la definición de IoT. Lo cual permite a los objetos conectados ganar un cierto grado de inteligencia (smart), tal y como lo hace nuestro celular (smartphone) o, más recientemente, los televisores (smart TV).



Figura 1. Internet de las Cosas.

Beneficios de IoT en las Telecomunicaciones

El Internet de las Cosas, enfocado a conectar objetos y máquinas para que interactúen, es el reto de la nueva era digital. Esto representa un enorme desafío para las empresas del sector de las telecomunicaciones y las que requieren de sus servicios para entregar soluciones a los usuarios finales. Entre los beneficios que pueden diferenciar los productos de una empresa frente a la competencia se pueden mencionar los siguientes:

Servicio: los operadores de telecomunicaciones deben reinventar el modelo de relación con el cliente al ponerlo en el centro y transformar el modelo de ventas de manera que generen una experiencia del cliente consistente y donde la calidad del servicio sea clave de la diferenciación tanto en tiendas físicas como la que se ofrece por teléfono o Internet. Como parte de este proceso se requiere contar con cierto grado de servicio definido por la accesibilidad a las conexiones físicas y el desempeño en materia de cobertura y capacidad. La calidad del servicio puede medirse a partir de la latencia, rendimiento del paquete y cantidad de errores, temas inherentes a la sincronización de la red.

Infraestructura y almacenamiento: Los centros de datos y la capacidad de almacenar información en la nube, son clave para el éxito de los clientes a quienes se les ofrecerán servicios relacionados con el Internet de las Cosas o quienes usarán las redes para ese fin. Las telcos deben asegurarse de contar con una infraestructura en la nube sólida, flexible y ágil para adaptarse a la nueva escalabilidad y despliegue de las aplicaciones en el mundo de los dispositivos conectados. Para lograrlo deben ofrecer servicios de red ininterrumpidos, sin caídas y con velocidades adecuadas según lo requiera cada dispositivo, sensor o aplicación.

Personalización: IoT brinda un valor comercial agregado que permite desarrollar soluciones convincentes a partir del análisis de datos que pueden transformar los negocios y las empresas de telecomunicaciones pueden ser el aliado perfecto. Los operadores no pueden esperar pues el impacto del Internet de las Cosas es real y cambiará los objetivos de los proveedores de servicios y las empresas de telecomunicaciones deben ayudar a sus clientes a monetizar los servicios IoT a través de una administración correcta de la tecnología. Al incrementarse el número de dispositivos

conectados, su manejo requiere un seguimiento uno a uno por lo que contar con una asesoría personalizada y un equipo dedicado a cada cliente de las telcos será el plus que hará la diferencia entre un operador u otro pues, aunque ofrezcan los mismos servicios, la atención directa e inmediata será lo diferente.

Seguridad: Actualmente los usuarios manejan dos o tres dispositivos conectados a la red, pero cuando migremos a hogares conectados, autos conectados, oficinas inteligentes, transporte inteligente y ciudades conectadas se incrementará el uso de la red y los peligros de que sea vulnerada. Brindar continuidad, infraestructura y redes seguras debe ser parte de la oferta de un operador de telecomunicaciones que funge como proveedor para las empresas que dan servicios de Internet de las Cosas. El reto es grande, pero es básico para generar confianza, prevenir ataques y mantener seguros los datos de los usuarios de las redes.

IoT en escenarios reales: Ciudades Inteligentes

Otro escenario donde tiene gran aplicabilidad es en el desarrollo industrial, donde las ciudades inteligentes han impulsado el desarrollo de nuevos modelos de producción que recopilan datos de cómo se mueve una ciudad y una sociedad en concreto, para establecer métodos eficientes con los cuales se consiga hacer un uso correcto de los recursos de la ciudad. La finalidad es desarrollar modelos de sostenibilidad de consumo y producción para impulsar la economía [1]. En las ciudades inteligentes el IoT se implementa mediante sensores, dándole importancia a los servicios públicos como el transporte, la iluminación, sistemas de riego, recogida de residuos, etc. por lo que se logrará con ello un manejo eficiente que reduzca el gasto público [1]. Las ciudades inteligentes deben apostar por modelos autosustentables en cuanto a energía y uso de los recursos a través del IoT. Gracias a esto se mejorará la calidad de vida tanto de los ciudadanos como del entorno en el que viven.



Figura. 2: Ciudades Inteligentes.

3. SINCRONIZACIÓN DE RELOJ EN ENTORNOS IOT

El sincronismo se define como el proceso de entrega de una "referencia común" a los elementos de red desde una fuente común dentro de una precisión y estabilidad dadas, a fin de controlar precisamente la tasa a la cual las señales digitales se transmiten y procesan a través de dicha red. Desde el Internet de las Cosas, donde se esperan cambios en la vida cotidiana de sus usuarios al permitir el intercambio de datos entre cosas generalizadas a través de Internet, se imponen restricciones a las aplicaciones que requieren redes sincronizadas en el tiempo para un orden cronológico de la información o la ejecución sincrónica de algunas tareas. En general, las redes están formadas por entidades de recursos muy diversos.

La sincronización de reloj es un problema grave porque cada fase de supervisión, seguridad, desarrollo y depuración de una red incluye la determinación de cuándo ocurren los eventos. Una temporización precisa ofrece el único marco de referencia entre todos los dispositivos de la red.

El rápido crecimiento de IoT hace que la sincronización de redes sea un problema urgente. A medida que aumentan los dispositivos que se conectan, esta se vuelve crítica y con muchas aplicaciones emergentes que requieren mucha más precisión, es importante que se pueda garantizar una temporización precisa en toda la red.

Protocolos de Sincronización de Tiempo

Protocolo de Tiempo de Red (NTP): Se ha utilizado ampliamente para la sincronización de reloj y en este momento se está ejecutando su cuarta versión. Tiene una precisión de hasta milisegundos, pero la mayoría de los sistemas distribuidos basados en IoT requieren una precisión de microsegundos.

Protocolo de Precisión de Tiempo (PTP): Definido por el estándar IEEE 1588, es empleado para la sincronización de reloj en tiempo real sobre redes de conmutación de paquetes, con una precisión en el orden de los nanosegundos. Brinda sincronización de frecuencia, así como fase y tiempo. La versión 2 es la que satisface la precisión requerida por aplicaciones de telecomunicaciones. Es un protocolo complejo, donde algunas partes funcionan para cierto tipo de aplicación, no siendo así para otras, por lo que se hace difícil entender qué secciones pueden ser usadas en un escenario en particular. Esto llevó a que la UIT-T introdujera el concepto de los Perfiles PTP para las Telecomunicaciones, que les permite a otros organismos internacionales adaptar el PTP a aplicaciones particulares. La idea de los perfiles es definir combinaciones específicas de opciones y valores de atributos para una aplicación dada, con el objetivo de interoperabilidad entre equipos diseñados para esa aplicación.

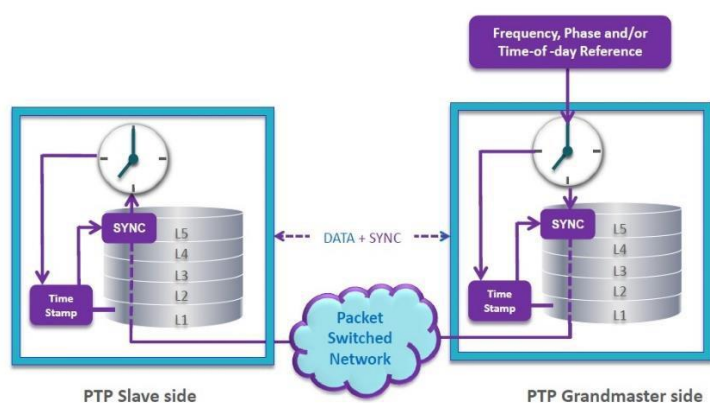


Figura. 3: Esquema de transmisión de IEEE 1588v2.

La marca de tiempo de PTP es tan perfecta porque en lugar de software utiliza hardware, y el equipo PTP tiene como propósito especial mantener los dispositivos sincronizados. Sobre la base del Protocolo de Precisión de Tiempo las redes ofrecen una gran precisión y los dispositivos PTP marcan el tiempo de permanencia de los mensajes de sincronización en cada dispositivo, lo que indica la latencia del mismo.

Cada elemento PTP sigue el siguiente patrón de cuatro mensajes básicos entre maestro y esclavo cuando se utiliza el modo de un paso (One Step):

- **Announce:** Mensaje de sincronización inicial de maestro a esclavo.
- **Sync:** De maestro a esclavo un mensaje de sincronización de seguimiento.
- **Delay Request:** De esclavo a maestro para dominar una solicitud de retraso.
- **Delay Response:** De maestro a esclavo un último mensaje de respuesta de retraso.

Existe también un modo basado en dos pasos (Two Step) que incluye un mensaje llamado Follow_Up, cuya función es transmitir la información de la hora del reloj maestro (T1) y que se envía justo después del mensaje Sync. Ese patrón de secuencia anterior produce cuatro marcas de tiempo diferentes:

- (T1) el maestro envía el mensaje de sincronización inicial
- (T2) el esclavo recibe el mensaje de sincronización inicial

- (T3) el esclavo envía la solicitud de retraso
- (T4) el maestro recibe la solicitud de retraso

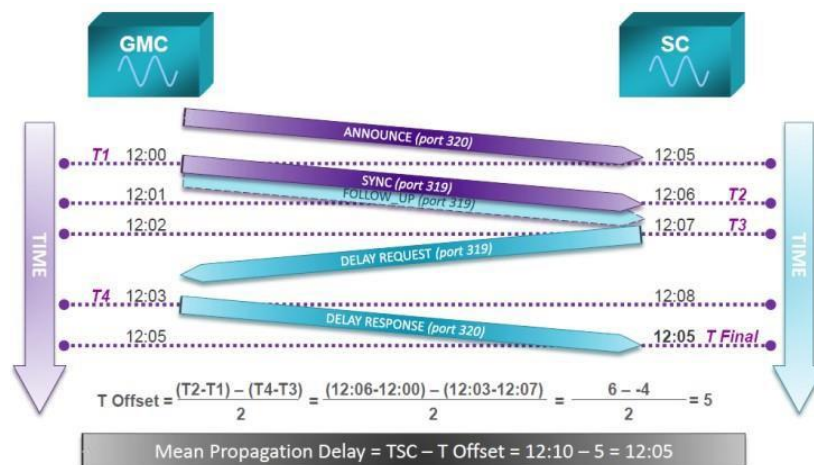


Figura. 4: Representación gráfica de los mensajes PTP.

Durante la fase de respuesta de retardo, el esclavo obtiene las cuatro marcas de tiempo del lado del maestro, y luego la latencia de la red calculada en ambas direcciones a través del esclavo entre el maestro y el esclavo. La latencia adicional introducida por el sistema operativo que funciona localmente puede escaparse del reloj local.

Las redes NTP tienen una latencia adicional y una menor cantidad de precisión simplemente porque están basadas en software, y todas las solicitudes de marca de tiempo deben mantenerse para el sistema operativo local. Por tanto, para redes asíncronas por naturaleza, el PTP representa una de las mejores soluciones de sincronización debido a su precisión en nanosegundos al sincronizar el reloj [2]. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T) ha llevado el Protocolo de Precisión de Tiempo estandarizado por la IEEE 1588v2 a sus Recomendaciones definiendo los siguientes perfiles:

- **G.8265.1 Perfil PTP para Sincronización de Frecuencia [3]:** Dirigido a la distribución de frecuencia sobre redes de paquetes. Se propone principalmente para la sincronización de estaciones base, donde el principal requerimiento es que la interfaz de radio tenga una precisión de frecuencia dentro de los 50 ppb.
- **G.8275.1 Perfil de Telecomunicaciones PTP para Sincronización de Fase/Tiempo con Temporización Plena de la Red [4]:** Facilita la sincronización de frecuencia y fase a través de redes de backhaul basadas en paquetes, con Soporte de Temporización Total de la red (FTS). Este perfil especifica el despliegue de Relojes de Frontera (BC) donde quiera que haya un componente de red que inserte un retardo significativo. Los BC tienen múltiples puertos y pueden servir como puente para llevar con precisión la sincronización de un segmento de red a otro.
- **G.8275.2 Perfil de Telecomunicaciones PTP para Sincronización de Fase/Tiempo con Soporte de Temporización Parcial de la Red [5]:** Enfocado hacia la distribución de tiempo y fase con Soporte de Temporización Parcial de la red (PTS), en contraste con G.8275.1 que requiere soporte total por parte de la misma. Esta recomendación es aún incipiente, pero permitirá diseños más simples y económicos para las redes de backhaul, dado que su despliegue es sobre las redes ya existentes [6].

Mantener redes bien sincronizadas utilizando PTP.

Para crear una red de sincronización precisa, PTP generalmente se basa en una topología de sincronización jerárquica. En este sentido, un Reloj Maestro (GMC) se encuentra en la parte superior y distribuye información de tiempo a todos los relojes que se sincronizan directamente con este. Estos relojes, denominados Relojes de Frontera (BC), luego redistribuyen el tiempo a otros relojes que se sincronizan directamente con ellos. Los relojes que son solo esclavos se

encuentran en la parte inferior de este árbol de sincronización. Estos relojes esclavos, por último, brindan señal de reloj a los elementos de red que se encuentran al final de toda la cadena.

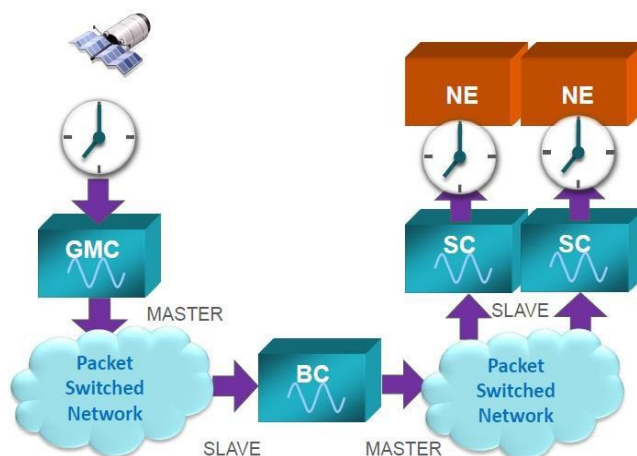


Figura. 5: Topología de sincronización jerárquica basada en PTP.

Esto hace que las cosas sean un poco difíciles, ya que un reloj esclavo solo puede ser una fuente de tiempo confiable si el reloj con el que se está sincronizando es en sí preciso. En PTP, la función del esclavo es sincronizar con su reloj maestro. Si esta funcionalidad de esclavo es parte de un reloj de frontera, cualquier error en su recuperación de tiempo se pasará a sus esclavos. Estos errores normalmente se acumulan en un nivel tolerable en línea con el diseño de la red de temporización, a medida que esta se propaga hacia abajo en el árbol de sincronización. Sin embargo, es vital asegurar que cada componente en esta distribución de tiempo esté funcionando como se espera; es decir, su salida de tiempo tiene solo una pequeña degradación de su fuente de tiempo. Si cualquier reloj que sea una fuente de tiempo comienza a distribuir tiempo impreciso por cualquier motivo, todos los demás dispositivos que lo sincronicen pueden seguir su ejemplo.

Varias cosas pueden salir mal en una red de temporización PTP: las fuentes de temporización GNSS pueden perderse debido a una ruptura de antena o un clima severo, varios dispositivos de red (incluidos los relojes PTP) pueden caerse y no estar disponibles. Dado que la sincronización es en muchos casos una infraestructura crítica en la red, debe continuar proporcionando la precisión necesaria incluso después de eventos de este tipo. El protocolo PTP tiene varios mecanismos para manejar tales escenarios de fallas. Por ejemplo, permiten que la red de temporización PTP realice la transición a una fuente de temporización externa alternativa que aún tiene trazabilidad de tiempo y redirecciona la topología de temporización de la red para mantener la temporización precisa en una red implementada de manera apropiada.

Como una red de temporización PTP es un sistema distribuido complejo, para tener una alta confianza en la precisión de la distribución de temporización, es importante controlar que la red esté funcionando como se espera durante la implementación. Tal monitoreo puede ser crítico en la detección y manejo de fallas inesperadas. Un reloj esclavo que funciona mal y no se sincroniza correctamente con su maestro es un ejemplo importante de tal falla [7].

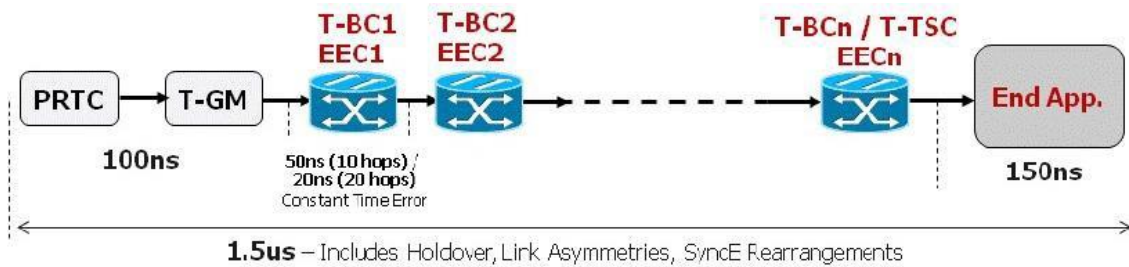
Posibles despliegues de sincronización.

En cuanto a posibles despliegues de sincronización y en función de cumplir con requerimientos de Fase/Tiempo con una precisión del orden de los nanosegundos, utilizar el estándar 1588 v2 sería la mejor opción. Ahora bien, seleccionar qué perfil implementar, G.8275.1 o G.8275.2, sería decisión del operador teniendo en cuenta diferentes criterios, entre ellos el económico.

Los despliegues de sincronismo salto a salto, utilizando G.8265.1 o G.8275.1, no siempre son viables pues muchas redes no están adecuadas para esta finalidad. En esto existen tecnologías de transporte diversas, muchas rutas IP y asimetrías y por lo general los elementos de red no soportan 1588v2.

El perfil de telecomunicaciones G.8275.1 requiere que la red brinde FTS, es decir, deben implementarse BC en cada nodo de red en la ruta de distribución de temporización entre el Reloj Maestro PTP y el cliente. El perfil define un

conjunto de parámetros PTP utilizados para garantizar el interfuncionamiento entre las diferentes implementaciones [8]. El costo de incluir BC en todos los elementos que posean un retardo significativo trae consigo un costo elevado, lo cual no es factible para muchos operadores.



PRTC = Primary Reference Time Clocks; T-BC = Telecom Boundary Clock; T-GM = Telecom Grand Master; T-TSC = Telecom Time Slave Clock; EEC = synchronous Ethernet Equipment Clock.

Figura 6. Arquitectura del Perfil G.8275.1 con su máximo error de tiempo permitido en toda la cadena.

En contraste, el perfil de telecomunicaciones G.8275.2 solo requiere que la red brinde PTS. Esto significa que no todos los nodos de la cadena de distribución de temporización tienen que participar plenamente en el PTP o satisfacer el requisito de rendimiento para T-BC. Está diseñado para operadores que no tienen capacidad de soporte de temporización completa y no pueden actualizar todos los conmutadores y enrutadores de la cadena de distribución de temporización de inmediato. A su vez, mitiga la asimetría como un problema y es fácil de implementar para muchas arquitecturas ya que solamente los últimos elementos serán los que reconozcan 1588v2. Este perfil introduce tipos de reloj adicionales como T-BC-P, T-TC-P, T-TSC-P y T-TSC-A, donde “-P” indica “parcial” y “-A” indica “asistido” [8]. Las características de rendimiento de estos tipos de reloj, se encuentran en la Recomendación G.8273.4, pero son aún muy incipientes.

Los operadores tendrán que lidiar con sus despliegues tradicionales (sin soporte de PTP) por un buen tiempo, pues económicamente hablando les llevará tiempo llevar G.8275.1 a todos los sitios. No obstante, los esfuerzos dentro del grupo de estudio que investiga este tema en la UIT-T, han estado enfocados en una red FTS, pues con esto se espera mucho mejor rendimiento [9].

Una red implementando FTS, de modo general, implica un único dominio administrativo. En el caso donde sea necesario unir segmentos de red que no pertenecen, digamos, al mismo operador, y que no posean despliegues similares, puede tenerse en cuenta el uso de PTS. El Apéndice I de la Recomendación G.8271.2 muestra escenarios de despliegues para Redes con Soporte Parcial de Temporización, incluyendo el uso de PTS para unir dos segmentos de red con FTS [9].

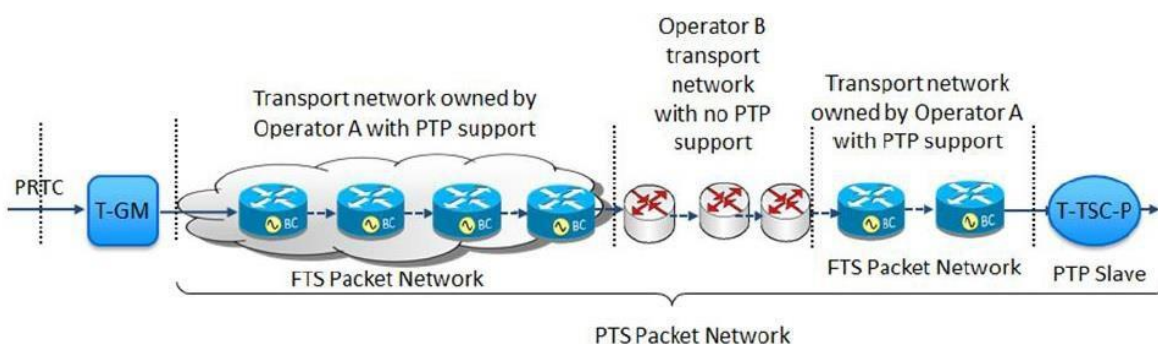


Figura 7. Arquitectura de uso de PTS para unir dos segmentos de red con FTS.

4. CONCLUSIONES

Lograr una infraestructura de red bien sincronizada, que permita que aplicaciones que requieren una noción coherente de tiempo funcionen correctamente sin causar molestias al usuario, representa un trabajo arduo para los especialistas del tema. Seleccionar protocolos y métodos no es cosa de un día. Las soluciones de sincronismo deben adecuarse al escenario de la aplicación y las capacidades de las entidades de la red. Teniendo en cuenta la importancia real de este asunto, profundizar en temas de sincronización de redes de telecomunicaciones nunca será tiempo perdido.

REFERENCIAS

- [1] “La importancia del IoT para las smart cities”. [Online] Disponible en: <https://iurban.es/la-importancia-del-iot-para-las-smart-cities/>
- [2] A. Z. Khan. “IEEE1588 based PTP protocol for Clock Synchronization in IoT”. [Online] Disponible en: <https://medium.com/blueeast/ieee1588-based-ptp-protocol-for-clock-synchronization-in-iot-cc452f3afc72>
- [3] UIT-T, “G.8265.1 Perfil de telecomunicaciones PTP para sincronización de frecuencia”. 11.1002/1000/12193, julio, 22, 2014.
- [4] UIT-T, “G.8275.1 Perfil de telecomunicaciones PTP para sincronización de fase/tiempo con temporización plena de la red”. 11.1002/1000/12815, junio, 22, 2016.
- [5] UIT-T, “G.8275.2 Perfil de telecomunicaciones PTP para sincronización de fase/tiempo con temporización parcial de la red”, 11.1002/1000/12833, junio, 22, 2016
- [6] ADVA Optical Networking, “Precise Phase Synchronization”. [Online] Disponible: <http://www.oscilloquartz.com>
- [7] O. Roner. “Why Packet Monitoring of Clocks Is Key to Syncing the IoT”. [Online] Disponible en: <https://blog.advaoptical.com/en/why-packet-monitoring-of-clocks-is-key-to-syncing-the-iot>
- [8] J. Andreoli-Fang y J. T. Chapman, “Mobile Backhaul Synchronization Architecture”, en SCTE / ISBE Cable-Tec Expo, octubre 2017, pp. 12-15
- [9] Stefano Ruffini (Ericsson), Silvana Rodrigues (IDT); “Evolution of Sync Standards, addressing real deployments Needs”, en ITSF, octubre-noviembre 2016, pp. 5-7

SOBRE LOS AUTORES

Santander Durán, Beatriz; Especialista “B” en Telemática de la Dirección de Tecnologías, Vicepresidencia de Estrategia de Negocios y Tecnología, ETECSA, Cuba.

- Ingeniera en Telecomunicaciones y Electrónica.
- Experiencia en Sincronización de Redes de Telecomunicaciones. Planeamiento y diseño de redes de sincronismo, así como mediciones de la calidad de la señal de reloj.
- Conocimientos sobre redes de transporte SDH, ASON,
- Conocimientos sobre redes de backbone OTN, DWDM.
- Representa a ETECSA en las reuniones del Grupo de Estudio 15, Comisión 13, de la UIT-T.
- Participó en el VIII Simposio de Telecomunicaciones en el año 2018.