

**XVIII Simposio Internacional de Ingeniería Eléctrica "SIE 2019"**

**Propuesta de sincronismo de fase en la red de transporte de ETECSA  
para LTE-Advanced**

***Proposal of phase synchronization over the transport network of  
ETECSA for LTE-Advanced***

**Ing. Claudia Carballo González<sup>1</sup>, MsC. Ernesto Quelle Santana<sup>2</sup>**

1- Claudia Carballo González, Cuba. E-mail: claudia.carballo@etecsa.cu

2- Ernesto Quelle Santana, Cuba. Email: ernesto.quelle@etecsa.cu

**Resumen:**

Históricamente, las redes móviles solo requerían sincronización de frecuencia de alta calidad, pero ahora, con la incorporación de nuevas funciones y capacidades, además de la especificación para la sincronización de la frecuencia que sigue siendo importante, las celdas también necesitan sincronización de fase y marcas de fecha y hora. En específico, el despliegue en el mundo de la tecnología LTE-Advanced representa un salto tecnológico, no solo por las altas velocidades que permite, sino también por sus funcionalidades, que garantizan alta capacidad y rendimiento.

En su plan de desarrollo, ETECSA tiene concebido el despliegue de LTE-Advanced, tecnología que presenta nuevos desafíos para la empresa. En tal sentido, para cumplir con las funcionalidades de dicha tecnología y alcanzar alta precisión en la transferencia de voz, video y datos móviles, es necesario que su red de transporte evolucione y admita requisitos más estrictos de desempeño en la latencia y sincronización de frecuencia y fase.

Para dar cumplimiento a la problemática anteriormente planteada, en este trabajo de investigación se analizan los perfiles de sincronismo de nueva generación y se proponen los que más se ajustan a las características de la red de transporte de ETECSA. Por último, se realiza una propuesta para la distribución de sincronismo de fase empleando

el Protocolo de Precisión de Tiempo (PTP), según los requerimientos impuestos por LTE-Advanced y a un costo económicamente razonable.

**Palabras claves:** LTE-Advanced, sincronismo, redes de transporte.

**Abstract:**

*Historically, mobile networks only required high-quality frequency synchronization, but now, with the addition of new functions and capabilities, in addition to the specification for frequency synchronization that remains important, cells also need phase synchronization and markings of date and time. Specifically, the deployment in the world of LTE-Advanced technology represents a technological leap, not only because of the high speeds it allows but also because of its functionalities, which guarantee high capacity and performance.*

*In its development plan, ETECSA has conceived the deployment of LTE-Advanced, a technology that presents new challenges for the company. In this regard, in order to comply with the functionalities of said technology and achieve high precision in the transfer of voice, video and mobile data, it is necessary that its transport network evolve and admit more stringent performance requirements in latency and frequency synchronization and phase.*

*In order to comply with the aforementioned problems, this research work analyzes the new generation synchronism profiles and proposes the ones that best match the characteristics of the ETECSA transport network. Finally, a proposal is made for the distribution of phase synchronism using the Precision Time Protocol (PTP), according to the requirements imposed by LTE-Advanced and at an economically reasonable cost.*

**Key words:** LTE-Advanced, synchronization, transport networks.

## 1. Introducción

Las tecnologías de banda ancha móviles han sufrido un notable avance, impulsadas por el desarrollo de dispositivos móviles y las altas exigencias de velocidad para los nuevos servicios (1). En específico, la evolución a la tecnología LTE (*Long Term Evolution*) representa un salto tecnológico, entre otros factores, por su arquitectura totalmente IP de

extremo a extremo en la red, superando las dos mil millones de conexiones a nivel mundial (2).

Sin embargo, a pesar de la rapidez con la que se ha adoptado e implementado LTE de manera exitosa, muchos de los operadores han comenzado el proceso de transición hacia *LTE-Advanced* (LTE-A), que representa la evolución del estándar. Está enmarcado en las publicaciones de la 10 a la 12; mientras que las publicaciones de la 13 a la 15 especifican nuevas funcionalidades y se le suele llamar *LTE-Advanced Pro* (3).

*LTE-Advanced* garantiza altas velocidades de hasta 1 Gbps en bajada y 500 Mbps en subida. Además, incluye nuevas funcionalidades tales como coordinación mejorada de interferencia intracelda (eICIC, del inglés *Enhanced Inter-Cell Interference Coordination*), la coordinación multipunto (CoMP, del inglés *Coordinated Multi-Point transmission/reception*), la agregación de portadoras (CA, del inglés *Carrier Aggregation*), el servicio optimizado de difusión de multimedia (eMBMS, del inglés *Enhanced multimedia broadcast multicast services*), entre otras, que garantizan un mejor rendimiento, optimización de la red, bajas latencias y alta eficiencia espectral (4).

Las nuevas tecnologías de banda ancha móviles exigen requerimientos cada vez más estrictos en cuanto a precisión y estabilidad. Para *LTE-Advanced* no solo se requiere sincronismo de frecuencia, sino también sincronismo de fase, que pasa a jugar un papel medular para garantizar un servicio de calidad.

ETECSA, la empresa de telecomunicaciones de Cuba, está desplegando actualmente radio bases 3G y LTE, las cuales se están sincronizando en frecuencia con el estándar PTP. Además, plantea en su plan de desarrollo futuro el despliegue de *LTE-Advanced*, para lo cual su red de transporte debe evolucionar y estar preparada para la entrega precisa del sincronismo de fase a las estaciones base (eNodeBs).

En el presente trabajo se tiene como objetivo, a partir de la situación problemática anteriormente planteada, proponer una solución de sincronismo de fase para la red de

transporte de ETECSA, teniendo en cuenta los requerimientos impuestos por LTE-*Advanced*.

## 1.2 Sincronismo

El sincronismo es un requisito indispensable para el correcto funcionamiento de las redes y la integridad de los datos. A diferencia de las redes TDM heredadas, las redes de paquetes no son deterministas con respecto al retardo y la variación de retardo. Por lo tanto, el rendimiento de la sincronización debe ser monitoreado y asegurado (5).

### 1.2.1 Protocolos de sincronismo de nueva generación

La migración del transporte basado en TDM a una red de transporte de paquetes ha cambiado significativamente los esquemas de sincronismo. La distribución de la información de temporización para la sincronización constituye un nuevo desafío para los operadores de telecomunicaciones (5).

Han surgido protocolos de sincronismo de próxima generación orientados a infraestructura de redes por naturaleza asíncrona, con el objetivo de garantizar la entrega de servicios en tiempo real y con la calidad requerida. Estos protocolos son: NTP, SyncE y PTP. A continuación se describen las principales características de los mismos, haciendo énfasis en el último de los mencionados.

#### 1.2.1.1 NTP

NTP, descrito en (6), define un protocolo y un algoritmo para la distribución de sincronismo de tiempo, aunque también puede emplearse para la distribución de frecuencia. Las implementaciones de las estampas de tiempo que se envían y reciben usan el protocolo de datagrama de usuario (UDP, en inglés *User Datagram Protocol*), a través del puerto 123. La versión actual es la 4, descrita en (7). Funciona en una arquitectura jerárquica, dividida en capas o estratos (máximo 15), lo que permite determinar la distancia desde el reloj de referencia primaria.

### 1.2.1.2 SyncE

Ethernet Síncrono (SyncE) es un estándar para la distribución de frecuencia basado en la capa física. Su objetivo es evitar cambios en el IEEE Ethernet existente, pero extenderse para que funcione como una red síncrona adecuada (8). Especifica el uso de un oscilador de alta estabilidad para generar la frecuencia de línea, con una sensibilidad de  $\pm 4,6$  ppm.

Los equipos de la red Ethernet síncrona se pueden conectar a la misma red de sincronización que SDH, así mismo la sincronización para SDH se puede transportar a través de Ethernet. El sistema admite un máximo de 60 relojes, a lo sumo 10 SSU (*Synchronization Supply Unit*) en una cadena y 20 EEC (*Synchronous Ethernet Equipment Slave Clock*) entre dos SSU. Cada nodo de la red debe tener un reloj que sea capaz de recibir y transmitir el sincronismo. Cualquier excepción rompe la cadena de sincronización.

### 1.2.1.3 PTP

El Protocolo de Precisión de Tiempo (PTP) tiene como objetivo la distribución precisa de frecuencia, fase y tiempo sobre redes de paquetes (9). Es definido en el estándar IEEE 1588 v2 (10) y está basado en la arquitectura de maestro-esclavo, entre los que se intercambian mensajes que representan una estimación de tiempo.

#### 1.2.1.3.1 Tipos de relojes PTP

En PTP se definen tres tipos de relojes: frontera (BC, del inglés *Boundary Clock*), ordinario (OC, del inglés *Ordinary Clock*) y transparente (TC, del inglés *Transparent Clock*) (11).

Los relojes frontera tienen múltiples conexiones de red. Actúan como intermediarios entre el reloj gran maestro (GM, del inglés *Grandmaster*) y los clientes, regenerando los paquetes PTP (12). Típicamente se encuentran ubicados en el borde de la red y reciben su referencia primaria del GM, mientras, con su reloj local, sirven de maestros al resto de los clientes PTP de la red. Los BC mitigan el número de saltos y las demoras

resultantes del intercambio de mensajes entre el GM y los clientes; así como elimina la necesidad de tener una fuente GPS en cada ubicación del servidor. Esto se traduce en la reducción de costos de implementación del protocolo PTP de extremo a extremo.

Un reloj transparente (TC) mantiene preciso su propio reloj interno, detectando los paquetes 1588 v2 y ajustando la marca de tiempo para que dichos paquetes reflejen correctamente la latencia que agrega el nodo al flujo de paquetes. En consecuencia, el reloj esclavo del sitio de celda recibe una marca de tiempo más precisa en los paquetes 1588 v2 y, por lo tanto, garantiza un mejor sincronismo de fase. Para ello utiliza un campo de corrección (13).

Un reloj ordinario (OC) presenta un solo puerto PTP, que puede trabajar como maestro o esclavo en dependencia de su posición en la red (12).

#### **1.2.1.4 Perfil predeterminado PTP**

El estándar 1588 v2 incluye un perfil predeterminado PTP para el sincronismo de frecuencia, fase y tiempo, según se describe en (14). Fue definido principalmente para operaciones multicast y soporta todos los tipos de relojes (15). Incluye el algoritmo de selección de mejor reloj maestro (BMCA, del inglés *best master clock algorithm*), que automáticamente construye la distribución jerárquica de sincronismo para los relojes PTP.

Con el objetivo de adaptar el uso de PTP a diferentes escenarios y garantizar la correcta adopción del sincronismo de frecuencia, fase o tiempo, se han conformado diferentes perfiles (16), los cuales definen qué aspectos del estándar IEEE 1588 v2 son incluidos o excluidos, así como los rangos de configuración necesarios.

#### **1.2.1.5 Perfiles de telecomunicaciones PTP**

En el caso de la industria de telecomunicaciones, la UIT-T ha definido los siguientes perfiles: G.8265.1 para el sincronismo de frecuencia descrito en (17), G.8275.1 (18) y G.8275.2 para el sincronismo de tiempo y fase (19).

#### 1.2.1.5.1 G.8265.1

El perfil G.8265.1 posibilita el despliegue de sincronismo de frecuencia en redes de paquetes. Presenta las siguientes funcionalidades descritas en (20):

- Soporta los modos de reloj de un paso y dos pasos. Solo admite el modo unicast y transporta PTP sobre UDP, que a su vez puede ser transportado sobre IPv4 o IPv6 según sea el caso.
- No requiere que todos los elementos de la red soporten este perfil, solo los extremos, a diferencia del estándar SyncE. Por tanto, su funcionamiento es dependiente de las características de la red.
- Los tipos de relojes admitidos en este perfil son los ordinarios (OC), que pueden trabajar como maestros o como esclavos, con un solo puerto PTP.
- El número de dominios PTP por defecto es 4, y el rango aplicable es de 4 a 23.
- En este perfil el algoritmo BMCA es estático.

En la figura 1 se muestra la topología para este perfil. Solo los extremos (maestro y esclavo) soportan el protocolo PTP.

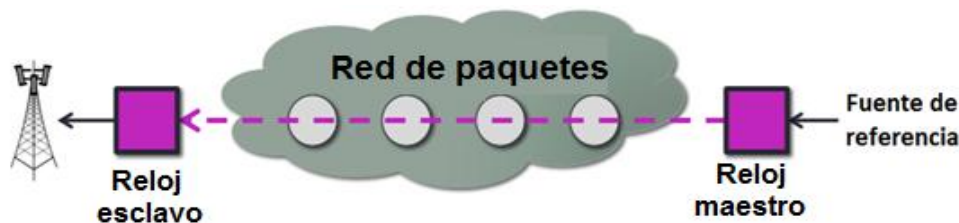


Fig. 1 Topología del perfil G.8265.1 (21)

#### 1.2.1.5.2 G.8275.1

El perfil G.8275.1 se utiliza en sistemas de telecomunicaciones que requieren sincronización precisa de tiempo y fase. Presenta las siguientes funcionalidades descritas en (20) y en (22):

- En la cadena de sincronismo entre el GM y el esclavo, todos los nodos actúan como BC, reduciendo notablemente la acumulación de errores a través de la red. En tal sentido, los BC sincronizan sus relojes del nodo GM o del BC anterior a él en la

cadena y, a su vez, proporciona sincronismo preciso al próximo BC o al reloj esclavo (T-TSC, del inglés *Telecom Time Slave Clock*).

- Para este perfil todos los nodos deben soportar PTP.
- PTP sobre Ethernet multicast debe ser usado. Solo soporta el modo de reloj de dos pasos.
- Son soportados los relojes OC, el cual solo puede ser T-GM y T-TSC, los cuales tienen un solo puerto PTP; y los relojes BC, que pueden tener múltiples puertos PTP, actuando como esclavo o como maestro de otro nodo en la cadena.
- Se recomienda tener múltiples GM activos por redundancia (18).
- Es mandatorio tener una frecuencia de capa física estable (SyncE), mientras se usa PTP para definir la fase. SyncE no es compatible con G.8262 cuando G.8275.1 está habilitado.
- El número de dominios PTP por defecto es 24 y el rango aplicable es 24 a 43.
- Soporta el algoritmo A-BMCA en dos modos: configuración de topología totalmente automática y semiautomática.

En la figura 2 se muestran los valores de errores máximos permisibles, donde la red está limitada a 1,5 microsegundos, acotada entre otros factores por fuentes de ruido, tales como asimetrías. Se ejemplifican dos casos: en el primero para un total de 10 BC, el máximo error de tiempo por elemento es de 50 nanosegundos, mientras que para un total de 20 BC, el máximo error es de 20 nanosegundos, lo cual está definido en (23).

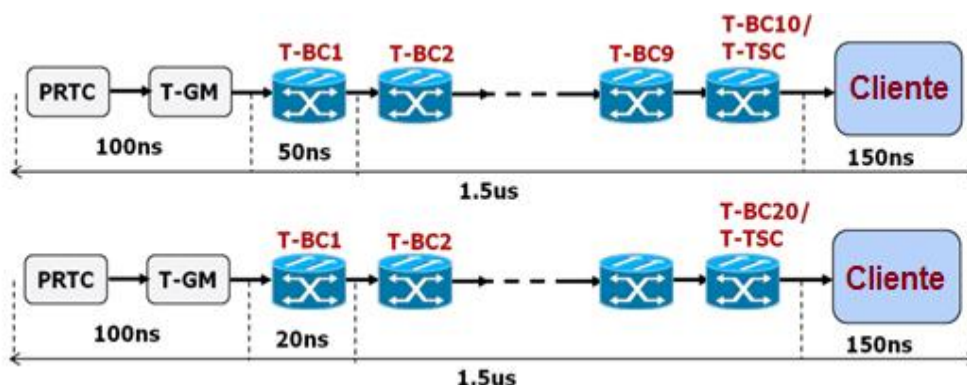


Fig. 2 Arquitectura del perfil G.8275.1 (20)



### 1.2.1.5.3 G.8275.2

El perfil G.8275.2 es necesario en aplicaciones de telecomunicaciones que requieren una sincronización precisa de la fase y tiempo. Presenta las siguientes funcionalidades descritas en (20), (24) y (25):

- Soporta temporización parcial (PTS, del inglés Partial Timing Support) de la red, utilizando PTP sobre UDP, que a su vez se soporta sobre IPv4 o IPv6 en modo unicast. Por tanto, no es necesario que los nodos que usan G.8275.2 estén conectados directamente. Esto representa una ventaja desde el punto de vista económico.
- Los tipos de relojes admitidos son OC y BC. Los relojes ordinarios pueden ser grandes maestros o esclavos: T-TSC-P (*Telecom Time Slave Clock Partial Support*) o T-TSC-A (*Telecom Time Slave Clock Assisted*), acorde a la arquitectura planteada en (24); mientras que los relojes de frontera pueden ser esclavo o maestro de otro reloj PTP: T-BC-P (*Telecom Boundary Clock Partial Support*).
- Compatible con el perfil G.8265.1 para la distribución de frecuencia, además de ser un prerequisite (25).
- Soporta el algoritmo ABMCA y se permiten los modos de reloj de un paso y dos pasos.
- El número de dominios PTP por defecto es 44, y el rango aplicable es de 44 a 63.

En la figura 3 se muestra la arquitectura para este perfil, donde el elemento BC divide la red en segmentos más pequeños. En el primer caso se tiene un nodo T-TSC-A, elemento final de la cadena de sincronismo asistido por una fuente primaria que puede ser el GPS, siendo el PTP la fuente de referencia secundaria. En el caso del segundo ejemplo, se tiene un nodo esclavo T-TSC-P, el cual sincroniza su reloj local con otro reloj PTP (GM o T-BC) y no proporciona sincronización PTP a ningún otro dispositivo.

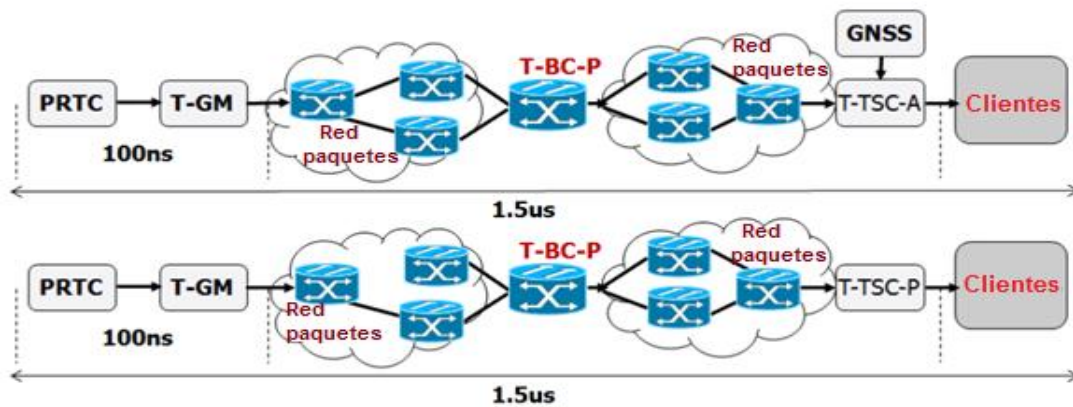


Fig. 3 Topología del perfil G.8275.2 (20)

Emplear uno u otro nodo esclavo depende de la calidad del reloj, topología de la red, PDV (*Packet Delay Variation*), entre otros factores limitantes que aún se encuentran en discusión (24).

### 1.3 Requerimientos de sincronismo de las tecnologías de banda ancha móviles

La evolución de la red móvil a *LTE-Advanced* y la planificación futura de las redes y servicios 5G ha generado una necesidad cada vez mayor para la entrega de una sincronización de fase precisa. Además del requerimiento de mayores velocidades de datos y menores latencias de red, se necesitan esquemas de sincronización más sofisticados para admitir nuevas funcionalidades.

A la hora de planear el esquema de sincronismo adecuado en la red, deben tenerse en cuenta los requerimientos impuestos por las tecnologías y aplicaciones que serán soportadas, así como las características de la red y del equipamiento con que ya se cuenta.

En la tabla 1 se muestran resumidos los requerimientos de sincronismo de frecuencia y fase para las tecnologías móviles.

Tabla 1. Requerimientos de sincronismo tecnologías móviles y funcionalidades (26)

<b>Aplicación</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Fase</b>
<b>GSM/UMTS/W-CDMA</b>	16 / 50 ppb	Ninguno
<b>CDMA 2000</b>	16 / 50 ppb	$\pm 3$ a $10 \mu\text{s}$
<b>LTE (FDD)</b>	16 / 50 ppb	Ninguno
<b>LTE (TDD)</b>	16 / 50 ppb	$\pm 1,5 \mu\text{s}$
<b>LTE-A MBSFN</b>	16 / 50 ppb	$\pm 1,5$ a $32 \mu\text{s}$
<b>LTE-A eICIC</b>	16 / 50 ppb	$\pm 1,5$ a $5 \mu\text{s}$
<b>LTE-A CoMP</b>	16 / 50 ppb	$\pm 1,5 \mu\text{s}$ a $\pm 500 \text{ ns}$

Como se muestra en la tabla, las nuevas funcionalidades para *LTE-Advanced* requieren una alineación de frecuencia y fase altamente precisas. Este es un requisito que actualmente no es compatible con diversas redes de transporte desplegadas a nivel mundial, las cuales deben evolucionar y admitir las nuevas necesidades de sincronismo.

#### **1.4 Propuesta de sincronismo de fase para la red de transporte de ETECSA**

En la figura 4 se muestra un gráfico de la adopción de los estándares de sincronismo a nivel mundial, donde se observa el creciente empleo de IEEE 1588 v2, a partir del requerimiento cada vez más preciso de sincronismo de frecuencia y fase.

Como se menciona en epígrafes anteriores, solo se puede brindar sincronismo de fase con el estándar IEEE 1588 v2 PTP o empleando la fuente GPS u otro sistema de posicionamiento por satélites (GNSS, por sus siglas en inglés *Global Navigation Satellite System*); mientras que el estándar SyncE solo proporciona sincronismo de frecuencia.

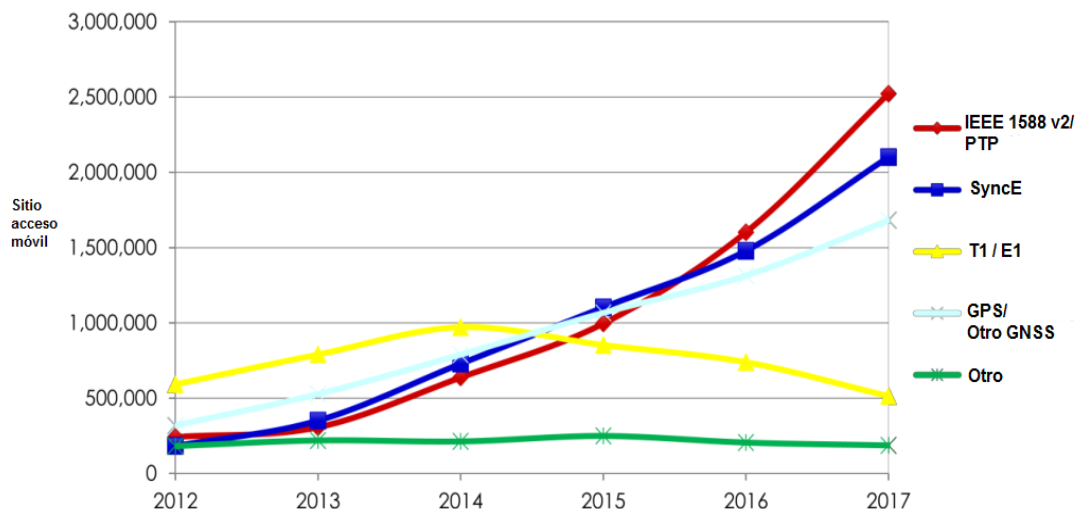


Fig. 4 Adopción de los estándares de sincronismo a nivel mundial (28)

La solución de emplear GPS no es técnica ni económicamente viable en todos los escenarios, debido, entre otros factores, a la vulnerabilidad de los eNodeBs de sufrir interferencia con la señal GNSS (27). Además, IEEE 1588v2 PTP es el único que garantiza el sincronismo de frecuencia y fase. Esto motiva el resultado mostrado en la figura 4, donde se evidencia un crecimiento notable de PTP con respecto a otros estándares de sincronismo.

Como se abordó anteriormente, para brindar sincronismo de fase con el estándar PTP, los perfiles disponibles son G.8275.1 y G.8275.2. El primero de ellos requiere grandes inversiones, debido a que no todos los elementos de la red de transporte actual lo soportan. Además, es mandatorio el empleo de SyncE para la distribución de frecuencia, estándar que no es usado actualmente en ETECSA, y que igualmente no es soportado por todos los nodos en la cadena de sincronismo.

En el caso del perfil G.8275.2 solo requiere que los extremos (reloj gran maestro y el esclavo) lo soporten, opción que resulta atractiva en una red ya existente donde no todos los elementos entienden PTP. Además, esta opción es compatible con el estándar G.8265.1 para la distribución de frecuencia, el cual ya está siendo empleado en la red de transporte de ETECSA.

#### **1.4.1 Consideraciones para el despliegue del perfil G.8275.2 en ETECSA**

A partir de lo planteado anteriormente, se propone el perfil G.8275.2 como solución de sincronismo de fase en la red de transporte de ETECSA, el cual puede desplegarse como APTS (asistido el nodo esclavo por un GNSS, ejemplo GPS), siendo económicamente no viable; y como PTS, donde no existe una referencia local y la fuente primaria es el PTP.

Esta última opción resulta la más atractiva; sin embargo, aún los límites de red para este caso están siendo estudiados por la UIT, lo que lleva a ETECSA a prepararse y realizar todas las pruebas pertinentes que garanticen el correcto despliegue de PTS. Para ello se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

-Para PTS, los requerimientos de red toman en consideración la combinación de los errores de tiempo constantes (cTE) y dinámicos (dTE). En general, el error máximo absoluto a la salida del nodo gran maestro es de 100 ns; mientras que el error permisible en la red de paquetes con soporte parcial PTP, es  $\max |pktSelected2wayLTE| < 1100$  ns (29).

-Es necesario el empleo de nodos con funcionalidad BC y TC, con el objetivo de reducir la asimetría y el PDV introducidos en la red.

-Al ser una arquitectura donde una serie de elementos en la red no entienden el perfil, los mensajes PTP deben ser procesados con la más alta prioridad (mayor QoS), con el objetivo de disminuir los retrasos variables, especialmente entre los nodos intermedios.

-Se recomienda el mismo camino para las comunicaciones en bajada y subida, para disminuir la probabilidad de demoras y asimetrías.

-Debe planearse un camino secundario en caso de fallas, como solución de alta disponibilidad, logrando disminuir el tiempo de recuperación de la señal PTP ante una falla de enlace.

-Se deben realizar pruebas basadas en los paquetes de control PTP (*Sync*, *Delay\_req*, entre otros), los cuales contienen las estampas de tiempo que son enrutadas en la red y permiten estimar el retraso de extremo a extremo.

Las mediciones deben tener en cuenta las características de los nodos, la carga del tráfico y las asimetrías, que pueden variar en dependencia de la tecnología desplegada, ejemplo OTN (*Optical Transport Network*). Algunas pruebas planteadas en (24), expresan el éxito de trabajo de este perfil con un número de 3 a 5 nodos sin soporte PTP; sin embargo, este valor no es general y debe ser corroborado en cada red de transporte.

Así mismo, en (24) se plantean esquemas compuestos, lo cual también puede ser valorado por ETECSA. Esto consiste en tener parte de la red trabajando con dicho perfil y la otra parte soportando G.8275.1, lo cual disminuirá la cantidad de nodos intermedios sin soporte PTP.

-La seguridad también es un aspecto imprescindible en la sincronización, ya que un ataque al reloj puede causar daños al nodo y afectar la confiabilidad del servicio. En general, dicha seguridad puede aplicarse de extremo a extremo o salto a salto, y la aplicación de uno u otro esquema debe ser valorada.

## 2. Conclusiones

Las nuevas funcionalidades de LTE-Advanced imponen nuevos requerimientos a las redes de transporte de los operadores. En específico, plantean altas precisiones para la entrega de sincronismo de fase a las estaciones base (eNodeBs). Planear la evolución requerida para dar soporte a los nuevos servicios no es tarea fácil, debido a que se necesita buscar un equilibrio entre costos y correcto desempeño de la red.

Para ETECSA, que cuenta con redes de transporte desplegadas donde no todos los elementos soportan PTP, el perfil G.8275.2 se vislumbra como la opción más atractiva, para lo cual debe realizar las mediciones pertinentes y garantizar cumplir lo planteado en las recomendaciones de la UIT. Si este perfil por sí solo no satisface los

requerimientos, puede valorarse un esquema híbrido, donde una parte de la red lo soporte y otra parte trabaje bajo el G.8275.1.

### 3. Referencias bibliográficas

- (1) Jhovany Santacruz, R.G. (2017). "Convergencia de las Comunicaciones Móviles hacia Sistemas LTE y LTE-A de Cuarta Generación."
- (2) Pautasio, L. (2017). "LTE ya supera las 2.000 millones de conexiones en el mundo." TeleSemana.
- (3) Research, R. (2017). "LTE to 5G: Cellular and Broadband Innovation." 5G Americas: [www.rysavy.com](http://www.rysavy.com).
- (4) Keskinen, M. (2017). "Mobile Network Evolution." Nokia.
- (5) Hongzhi Chen, D. M., Manuel Fuentes (2018). "Pioneering Studies on LTE eMBMS: Towards 5G Point-to-Multipoint Transmissions." Research Gate: <https://www.researchgate.net/publication/325264872>.
- (6) "Introduction to NTP (Network Time Protocol), NTP Stratum Levels." Available from: <http://www.omniseccu.com/ccna-security/introduction-to-ntp-network-time-protocol-ntp-stratum-levels.php>.
- (7) Internet Engineering Task Force (IETF) (2010). "Network Time Protocol Version 4: Protocol and Algorithms Specification."
- (8) Huawei (2016). "SyncE and PTP Update The Past, the Present and the Future."
- (9) SiTime (2018). "IEEE 1588 Precision Time Protocol (PTP) in ITU-T Standards."
- (10) End Run Technologies. "Precision Time Protocol (PTP/ IEEE-1588)."
- (11) IDT (2013). "IEEE 1588 Frequency and Time & phase profiles at ITU-T."
- (12) Integrated Device Technology (2015). "ITU-T profiles for IEEE 1588."
- (13) ITU-T (2017). "G.8273.3/Y.1368.3 Timing characteristics of telecom transparent clocks."
- (14) Nokia. "IEEE 1588 for Frequency, Phase, and Time Distribution."
- (15) Meinberg (2014). "The IEEE 1588 Default Profile."
- (16) Ciena (2012). "IEEE 1588 profile development in ITU-T."
- (17) ITU-T (2014). "G.8265.1/Y.1365.1 Precision time protocol telecom profile for frequency synchronization."
- (18) ITU-T (2018). "Recomendación G.8275.1/Y.1369.1 (2016) Amendment 2 (03/18)."
- (19) ITU-T (2018). "Recomendación G.8275.2/Y.1369.2 (2016) Amendment 2 (03/18)."
- (20) IDT (2018). "Synchronization standards."
- (21) Iometrix (2014). "IEEE 1588™ Telecommunications Conformance Program."
- (22) Cisco. "G.8275.1 Telecom Profile."
- (23) Symmetricom (2009). "Best Practices for IEEE 1588/PTP Network Deployment."
- (24) ITU-T (2018). "G.8271.2/Y.1366.2, Network limits for time synchronization in packet networks with partial timing support from the network."
- (25) Symmetricom (2012). "Synchronization Distribution Architectures for LTE Networks."
- (26) Infinera (2016). "Evolving mobile backhaul to support LTE-A and beyond."
- (27) Microsemi (2014). "Timing and Synchronization for LTE-TDD and LTE-Advanced Mobile Networks."
- (28) Patrick Donegan (2015). "New Backhaul Requirements for LTE, LTE-Advanced and Beyond."
- (29) Antti Pietiläinen, Nokia (2016). "Test patterns for time synchronization with partial timing support."