

# Solución de sincronización para la agregación de servicios LTE en la red de ETECSA

Synchronization solution for the aggregation of LTE services in ETECSA's network

Ing. Beatriz Santander Durán<sup>1</sup>

Recibido: 10/2017 | Aceptado: 02/2018

## PALABRAS CLAVE

Sincronización en frecuencia  
Sincronización en fase  
LTE, MPLS, RNC, ASG, CSG, RSG, VRF, VPN

## KEYWORDS

Frequency synchronization  
Phase synchronization  
LTE, MPLS, RNC, ASG, CSG, RSG, VRF, VPN

## RESUMEN

La presente investigación versa sobre el actual desarrollo de los sistemas de agregación basados en Ethernet Switch y cómo paulatinamente estos deben evolucionar en sistemas con soporte de sincronismo. Específicamente analiza aquellas adecuaciones necesarias en la red de un Operador para el soporte de servicios que requieren sincronismo. Aun siendo un tema muy tratado en la literatura, se considera de gran importancia su divulgación pues su dominio por ingenieros y especialistas está muy atado a las redes de transmisión soportadas con tecnologías SDH.

## ABSTRACT

The present investigation deals with the current evolution of the aggregation systems based on Ethernet Switch and how this should evolve into systems with synchronous support. This work does not try specifically on the technologies LTE, is about adaptations required in the network of an Operator for the support of services that require synchronous functions. Although the synchronous functions is a topic highly treated in literature, it is considered of great importance due to the fact that its domain for engineers and specialists is closely bundle to the transmission nets supported with SDH technologies.

## Introducción

Con la migración de TDM a NGN el reto para los operadores de red con respecto a la sincronización, es poder proporcionar una entrega de frecuencia y fase basada en paquetes con la precisión requerida por aplicaciones sensibles al retardo. Así, surgieron protocolos de sincronización de próxima generación basados en paquetes y orientados para su uso en infraestructuras de red por naturaleza asíncrona, so-

portadas en tecnologías de transporte de paquetes. El paso al transporte Ethernet es también un catalizador para el cambio en las instancias de sincronización que permiten a las redes entregar servicios en tiempo real. El presente trabajo pretende mostrar variantes para la agregación de servicios LTE en cuanto a los cambios que requieren las redes hoy existentes con respecto a la sincronización, así como exponer las recomendaciones de la UIT-T como consulta ne-

<sup>1</sup> Especialista B en Telemática, Dirección de Tecnología, VPEN, ETECSA, Cuba, beatriz.santander@etecsa.cu

cesaria para un mejor entendimiento de los nuevos requerimientos.

## Materiales y métodos

La investigación se inició analizando el estado de los servicios que requieren sincronización, observando que en su mayoría utilizan sincronismo de frecuencia basado en SDH. Con la introducción de los servicios LTE y su conectividad por redes de paquetes, la necesidad de utilizar los protocolos de sincronización para este tipo de redes exigió que se evaluaran diferentes opciones para que los sistemas tengan soporte de sincronismo. El análisis se enfocó en las principales ventajas y desventajas de cada método, con el fin de encontrar el que mejor se adecue a la red empleada en ETECSA.

Se utilizó el método descriptivo, a partir de la revisión bibliográfica realizada sobre el tema. El análisis se enfocó en las recomendaciones de la UIT-T como consulta necesaria para un mejor entendimiento de los nuevos requerimientos. Los métodos analítico-sintéticos se emplearon en la evaluación de las diferentes variantes para la agregación de servicios LTE en cuanto a los cambios que requieren las redes existentes con respecto a la sincronización.

## Protocolos de sincronización

### Ethernet síncrono (SyncE)

Con la necesidad de redes de *backhaul* de mayor capacidad, surgieron tecnologías basadas en paquetes con requerimientos de sincronización que no podían ser cumplidos con las tecnologías tradicionales SONET/SDH. Así, para el transporte de frecuencia en redes de paquetes surgió el Ethernet Síncrono, estandarizado por la UIT-T en sus recomendaciones G.8261, G.8262 y G.8264, el cual funciona independientemente de la carga de la red y soporta la transferencia de frecuencia

salto a salto, donde todas las interfaces de la ruta deben soportar este protocolo. En muchos aspectos SyncE es una evolución de la sincronización SDH / SONET y esta es la razón por la cual comparte muchos conceptos incluyendo arquitecturas y topologías. Ethernet Síncrono soporta la transferencia de frecuencia con fines de sincronización tanto para servicios inalámbricos como de línea fija y se utiliza principalmente para *backhaul* móvil y transporte convergente.

### Protocolo de Precisión de Tiempo (PTP), estándar IEEE 1588v2

El Protocolo de Precisión de Tiempo (PTP) está definido por el estándar IEEE 1588 y es usado para la sincronización de reloj en tiempo real sobre redes de conmutación de paquetes, con una precisión en el orden de los nanosegundos. Además de sincronizar en frecuencia (sintonizar), permite distribuir fase y tiempo.

La versión 1 del PTP, publicada en 2002, estaba dirigida sobre todo al campo de los ensayos, las mediciones y la automatización industrial. Se trataba de un protocolo multidifusión para su uso en una red LAN con un rendimiento superior a otros ya existentes. La versión 2 del PTP o IEEE-1588-2008 mejora la exactitud, precisión y robustez, pero no

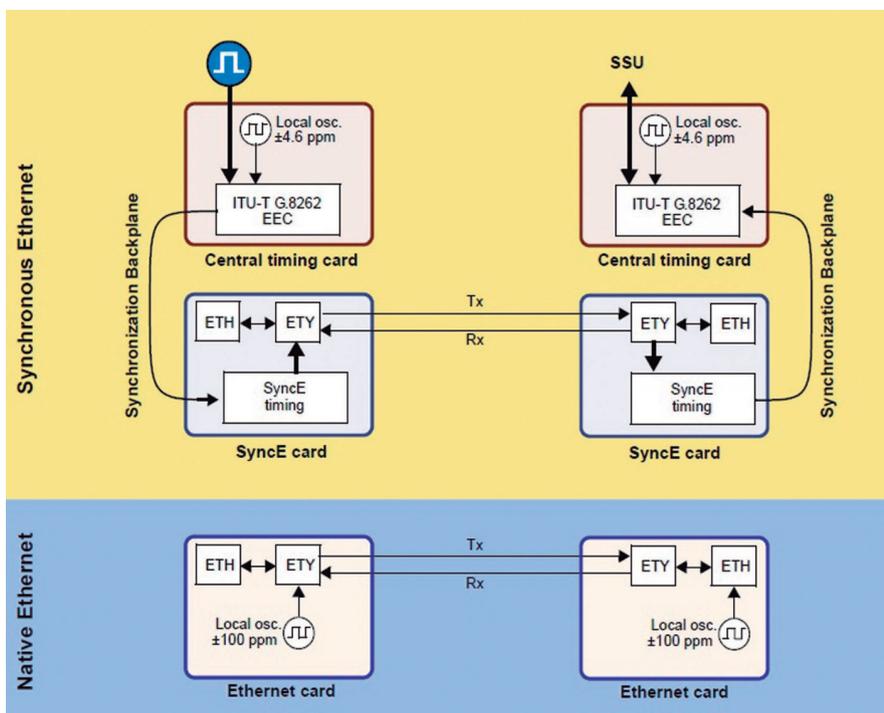


Figura 1. Arquitectura de Ethernet Síncrono y comparación con el Ethernet convencional.

es compatible con la versión original de 2002. Esta versión es la que satisface la precisión requerida por las aplicaciones de telecomunicaciones. (Figura 2)

El Protocolo de Precisión de Tiempo IEEE 1588v2 es un protocolo complejo, diseñado para ser usado en diferentes escenarios y aplicaciones. Algunas partes del protocolo 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 determinar combinaciones específicas de opciones y valores de atributos para una aplicación dada, con el objetivo de lograr la interoperabilidad entre equipos diseñados para esa aplicación.

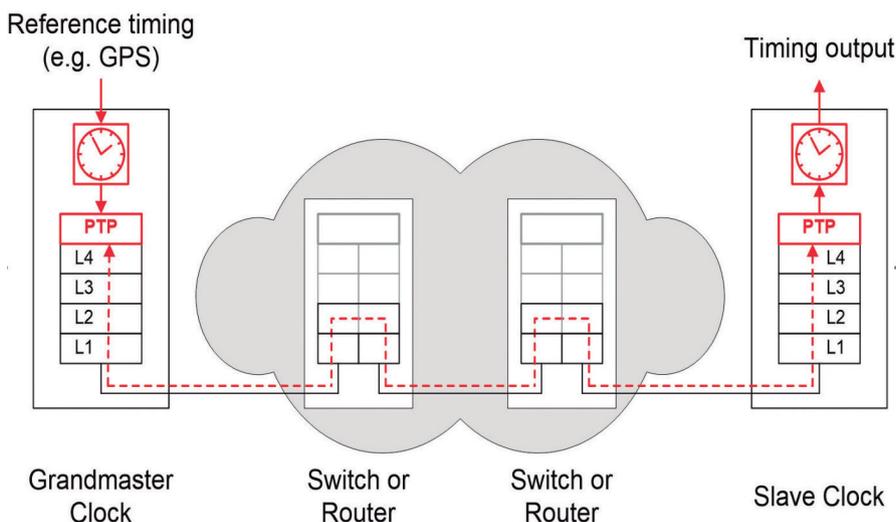


Figura 2. Esquema de transmisión de IEEE 1588v2.

Los Perfiles PTP definidos por la UIT-T en sus recomendaciones son los siguientes:

**G.8265.1 para Sincronización de Frecuencia:** 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. (Figura 3)

**G.8275.1 para sincronización de fase/tiempo con soporte total de temporización de la red:** define la sincronización de frecuencia y fase a través de redes de *backhaul* basadas en paquetes con soporte en todo el camino. Este perfil especifica el despliegue de Boundary Clock (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. (Figura 4)

**G.8275.2 para sincronización de fase/tiempo con soporte parcial de temporización de la red:** dirigida a la distribución de tiempo y fase con apoyo parcial de la red, en contraste con la recomendación anterior 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

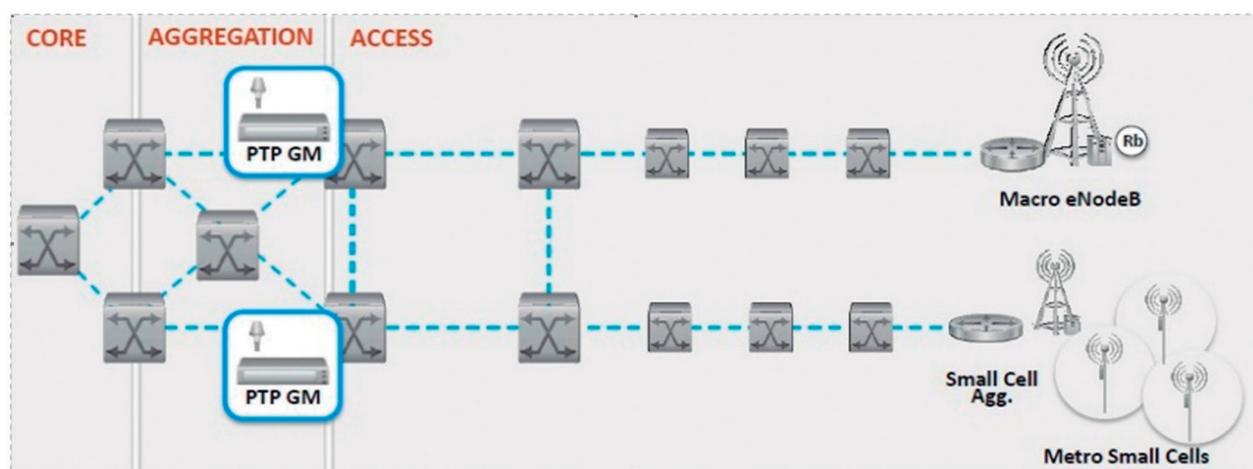


Figura 3. Arquitectura básica utilizando G.8265.1.

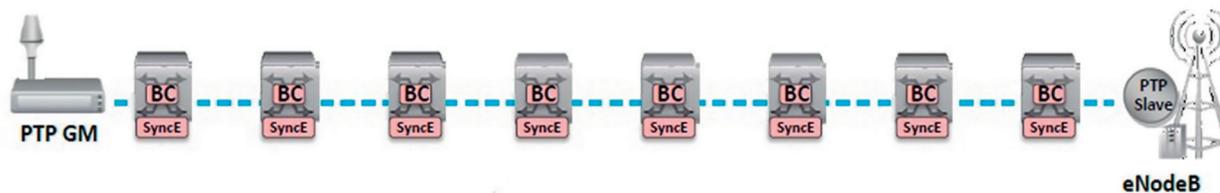


Figura 4. Arquitectura básica utilizando G.8275.1.

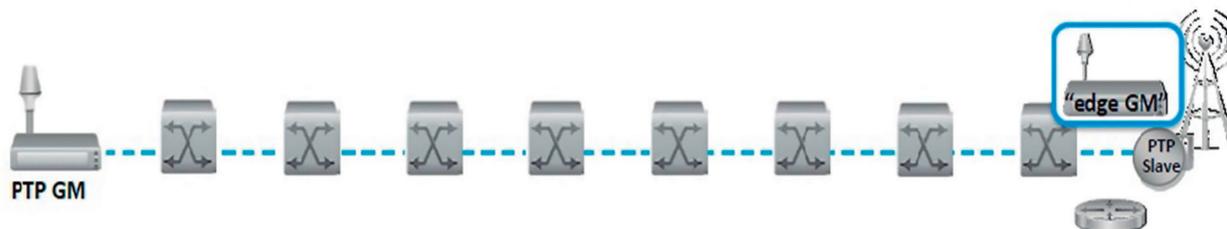


Figura 5. Arquitectura básica utilizando G.8275.2.

backhaul, dado que su despliegue es sobre las redes ya existentes. (ADVA, Optical Networking) (Figura 5)

### Redes de agregación basadas en tecnologías de capa 2 Ethernet

#### Conceptos teóricos útiles: VLAN o VPN

Dentro de las redes de agregación hay conceptos o denominaciones básicas que son necesarias dominar para adentrarse en la comprensión de cualquier solución. Dos de los términos más utilizados son VLAN y VPN.

VLAN es una tecnología usada para establecer “grupos virtuales” a través de la división lógica de los dispositivos en una red de área local (LAN) o de área metropolitana (MAN) en segmentos de red. Es decir una LAN o MAN física es lógicamente dividida en una red de broadcast (IEEE 802.1Q). Por consiguiente, el tráfico de broadcast en una VLAN no será reenviado a otras VLAN.

Las VLAN también protegen la seguridad de la red, porque IEEE 802.1Q modifica el formato de la trama Ethernet agregándole una etiqueta 802.1Q de 4 bytes entre el campo dirección MAC origen y el campo tipo de protocolo, evitando que elementos ubicados en puertos que pertenecen a VLAN diferentes se comuniquen entre sí. El formato de la trama VLAN especificado por IEEE 802.1Q se muestra a continuación en la figura 6.

Destination Address	Source Address	802.1 Q Tag		Length/Type	Data	FCS (CRC-32)
		Type	PRI/CFI/VID			
6 bytes	6 bytes	4 bytes		2 bytes	46-1500 bytes	4 bytes

Figura 6. Posición del tag 802.1q en la trama Ethernet.

El término VPN es un poco más abarcador toda vez que hay muchos tipos de redes que soportan este tipo de tecnología, pero por no ser objetivo del presente artículo analizar este tema a profundidad, se asociará exclusivamente el término VPN a aquellas que son proveídas con soluciones de transporte IP/MPLS y dentro de estas las denominadas MPLS-BGP-VPN, que son más que asociaciones de instancias de enrutamiento virtuales (tablas de rutas privadas) que proveen enrutamiento entre grupos de dispositivos específicos gracias a un protocolo denominado MP-BGP.

En el desarrollo inicial de la RED IP/MPLS no se encontraban aún desplegadas las redes de transporte SDH provinciales con conectividad Ethernet, las interfaces que se tenían eran de tipo SDH, E1s en su mayoría, teniéndose que planear una solución temporal que utilizaba fundamentalmente este tipo de transporte (E1) para insertar en la RED IP/MPLS Routers PE de gama media. Además la imposibilidad de contar con transporte Ethernet trajo consigo que la RED IP/MPLS se extendiera mucho más, llegando hasta cada uno de los municipios donde fuese necesario dar servicios con los nuevos DSLAM IP, empleando un Router de gama baja con interfaces Ethernet y E1s que permitiera la urgente conectividad Ethernet requerida

por el DSLAM, sobre todo para impulsar la tarea denominada Conectividad Social.

Paulatinamente, el escenario fue cambiando llegando a optimizar la red IP/MPLS con ventajas económicas y para la operación de dicha red, pues la misma se redujo considerablemente en el número de Router PE que la conforman. Las condiciones concretas que permitieron la simplificación de la red IP/MPLS fueron las siguientes:

Las capacidades (existentes) de agregación Ethernet hasta las cabeceras provinciales con las Redes de SDH-ASON pueden proporcionar la conectividad Ethernet inicial hacia las cabeceras provinciales.

La implementación de Agregación Metro Ethernet en La Habana y Camagüey.

La posibilidad de la red DWDM de brindar conectividad punto a punto Gigabit Ethernet. Esta RED puede proporcionar el soporte a Redes Metro Ethernet Regionales en los sitios que tiene presencia (Águila, Luz, Buenavista, Cubanacán, Matanzas, Cienfuegos, Villa Clara, Camagüey, Tunas, Holguín y Santiago).

### POP de Servicios IP/MPLS

La potenciación de la red IP/MPLS con los PE/BRAS en los 8 sitios principales de la red hizo ne-

cesario equipos de Agregación (Switch Ethernet) en cada POP para recoger el tráfico de los clientes, y diferenciar los servicios, enviando el tráfico L2 al PE o hacia el BRAS.

En resumen, es posible plantear que las soluciones de agregación de la red se han estado constituyendo en cada uno de los POP de Servicios principales a base de Conectividad en capa 2, con VLAN y QinQ en Switchs Ethernet de alto performance y han sido indispensables para garantizar:

La inserción eficiente de los nuevos PE/BRAS.

Flexibilidad y escalabilidad en la evolución del POP, pues prepara la arquitectura del POP en la inserción de otros equipos o plataformas, ej. 3G, Wifi, NGN, Centros de Datos, etc.

La preparación de los PoP de servicio para la introducción de redes Metro Ethernet de recogida del tráfico. (Figura 7)

### Situación actual

La aparición de nuevos servicios tales como el WiFi, 3G y más recientemente el LTE hacen pensar a fabricantes y suministradores de soluciones y equipamiento que el creciente número de equipos a ser agregados y terminados, tanto en los PoP de ser-

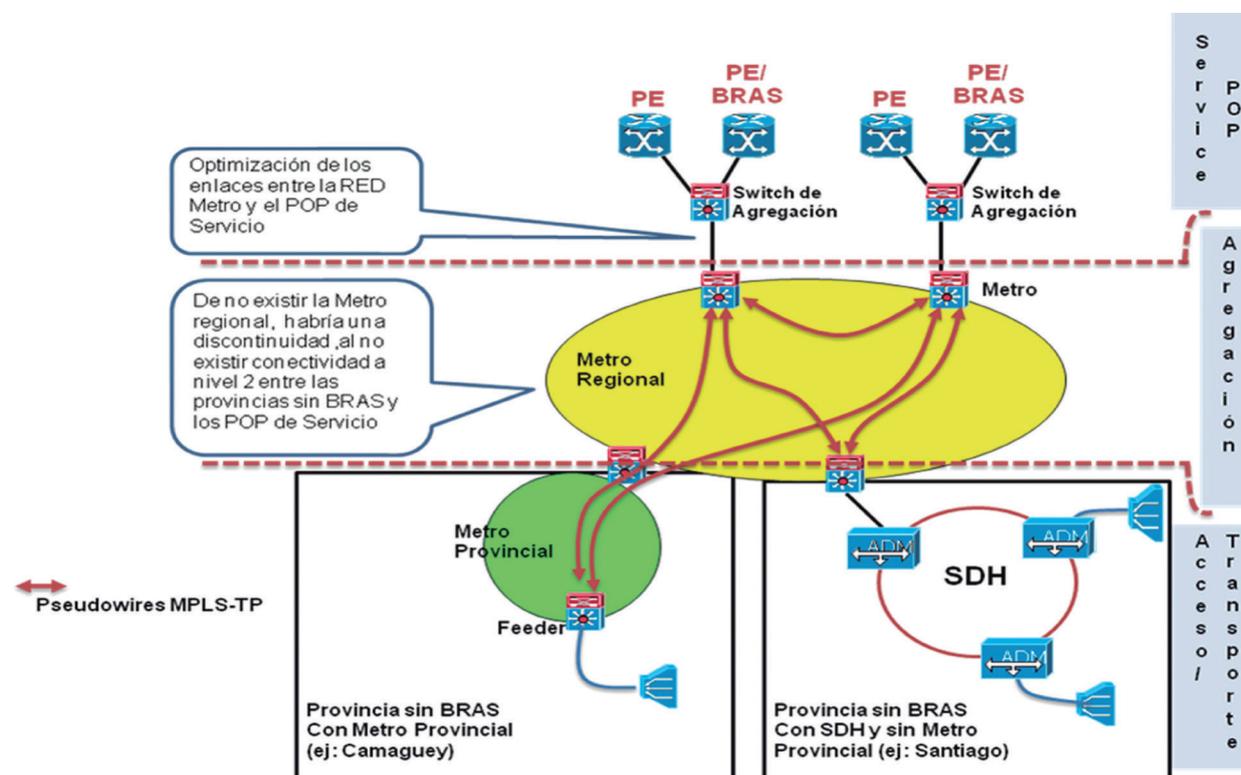


Figura 7. Esquema teórico. Niveles red ETECSA.

vicios como en los Nodos de CORE de las soluciones móviles, representarían un problema de escalabilidad a las soluciones de agregación basadas en capa 2, VLAN y QinQ; así como un complejo procedimiento de control a la gestión de los recursos virtuales de asociación (los id de las Vlan y del QinQ).

Adicionalmente, están los requerimientos de enrutamiento y conectividad de los nuevos eNodeB de la tecnología LTE los cuales requieren que una interfaz denominada X2 establezca conexiones transversales (equivalentes a enlaces enrutados con otro eNodeB).

Los fabricantes proponen salvar estas discontinuidades en el transporte IP/MPLS acercando los nodos PE y colocándolos hasta cierto punto en el interior de la agregación (UPE), de esta manera las terminaciones de los agregadores ya no proveerían VLAN sino VPN de nivel 3 que propiciarían encaminar el tráfico con todas las prerrogativas de MPLS en un entorno denominado MPLS e2e (*mpls end to end*). En estas topologías estos nodos se reconocerán como CSG —*Cell site Gateway*—.

Lo anterior constituye un esquema en el cual la propuesta se basa en extender hasta los equipos de la agregación las configuraciones del IGP y del sistema autónomo de la red MPLS que actúa como portador de los servicios IP, aunque existen esquemas que cierran a la agregación en un sistema autónomo independiente capaz de soportar IP/MPLS y operar prestando servicios de transporte a VPN de capa 2 y de capa 3, diferenciando el sistema de transporte en dos etapas:

Agregación corriendo IP/MPLS y soportando un sistema autónomo para el MP-BGP de las VPNL3 en este nivel.

Core o BB IP/MPLS soportando un sistema autónomo para el MP-BGP de las VPNL3 en este nivel. (Figura 9)

### Sincronización de reloj en esquemas de agregación con MPLS para soporte de LTE

Con el despliegue de tecnologías LTE y la conectividad IP/Ethernet de radio bases 2G, 3G y 4G, los operadores móviles de todo el mundo están transformando las redes tradicionales de *backhaul* basadas en SDH en redes soportadas en IP, lo cual trae implícito contar con protocolos de sincronización basados en paquetes, en función de satisfacer los requerimientos que puedan demandar los diferentes servicios.

En el caso de LTE-FDD solo requiere sincronización de frecuencia, lo cual puede ser resuelto utilizando SyncE (Figura 10). Sin embargo, LTE-FDD Advanced (4.5G/5G) y LTE-TDD tienen funcionalidades como son *Carrier Aggregation* (CA), HetNet, eMBMS, eICIC y CoMP, que requieren sincronización de fase, para lo cual sería necesario utilizar el estándar 1588v2 que podría implicar un despliegue de equipamiento que soporte 1588v2, pues según el Perfil PTP que se utilice puede ser necesario que los elementos de las redes de agregación y acceso soporten esta tecnología.

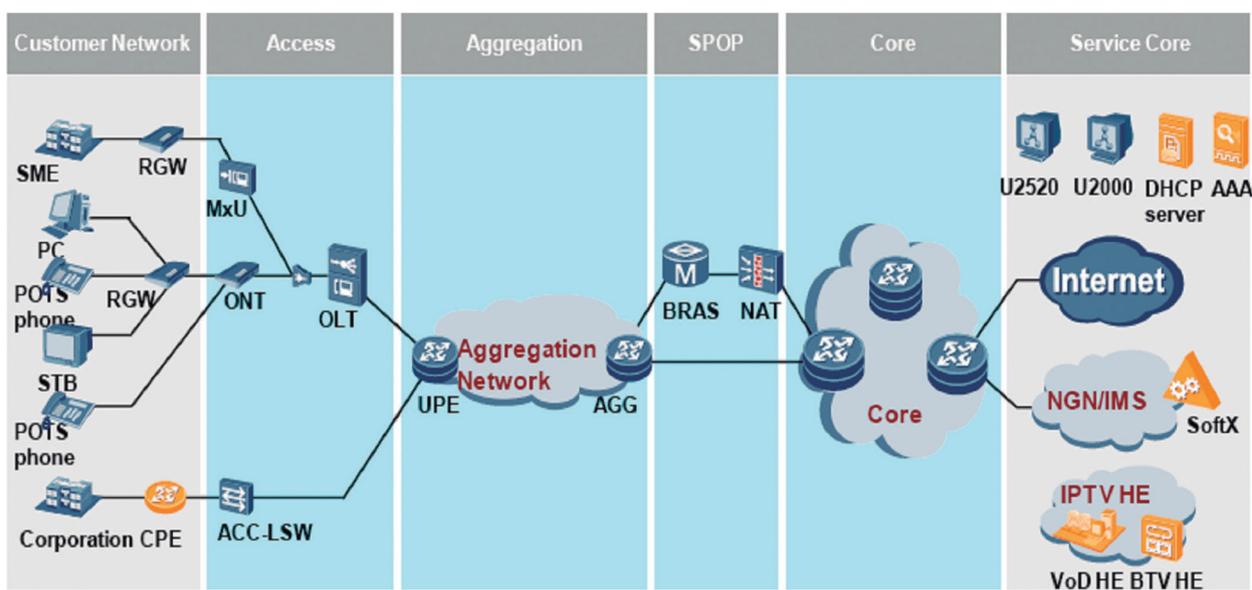


Figura 8. MPLS e2e.

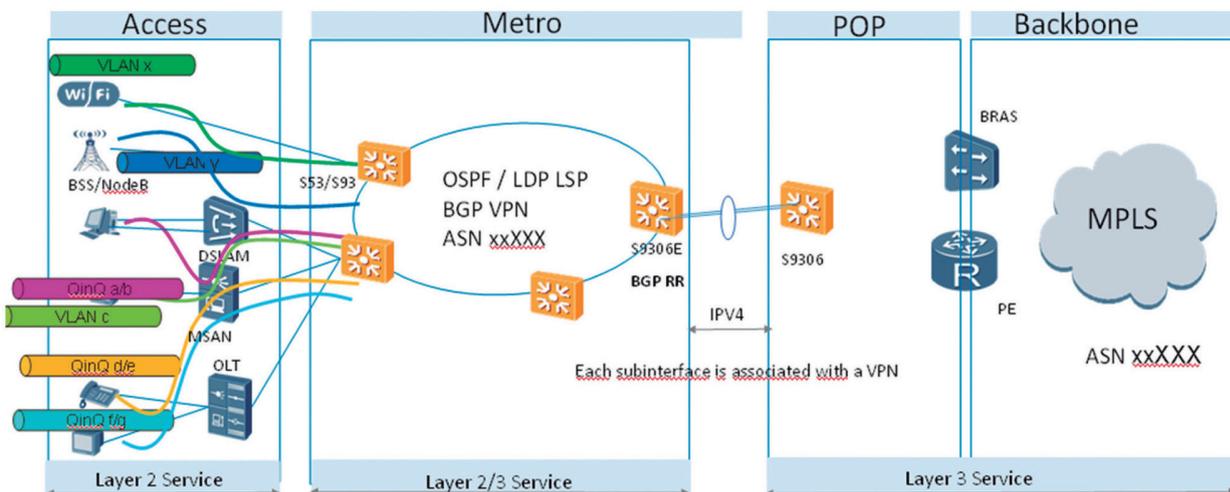


Figura 9. Red de Agregación o metro IP/MPLS.

Las redes inalámbricas con requerimientos de sincronismo (Wireless MAN y Wireless WAN), aparecen en la siguiente tabla:

Más específicamente aparecen valores orientados a las principales interfaces en el *Backhaul*. La primera (S1) Interfaz de control o señalización del eNodeB y el Core LTE (Figura 11). Y la segunda (S2) es la interfaz de comunicación entre eNodeBs adyacentes.

### Posibles despliegues de sincronización

En términos de escenarios de implementación, la sincronización de reloj puede clasificarse como de extremo a extremo y por salto. Las diferencias fundamentales entre estas dos son que en la sincronización de reloj de extremo a extremo solo los nodos finales necesitan soportar la función de reloj. En sincronización de reloj por salto, todos los nodos de red deben soportar la función de reloj.

La siguiente figura 12 muestra dos opciones de despliegue de sincronización, que son aplicables cuando el SGW y el CSG están en diferentes ASs.

La opción 1 presenta un despliegue distribuido de reloj por cada IP RAN o sistema de agregación y en ambos casos el control está en un sistema autónomo

Estándar	Requerimientos de precisión para sincronización de frecuencia	Requerimientos de precisión para sincronización de fase.
GSM	0.05ppm	NA
WCDMA	0.05ppm	NA
TD-SCDMA	0.05ppm	+/-1.5µs
CDMA2000	0.05ppm	+/-3µs
WiMax FDD	0.05ppm	NA
WiMax TDD	0.05ppm	+/-0.5µs
LTE FDD	0.05ppm	NA
LTE FDD (Hetnet, CA, eMBMS, COMP)	0.05ppm	+/-1.5, 1.5, 1.0, 0.5µs
LTE TDD	0.05ppm	+/-1.5µs

Figura 10. Requerimientos de precisión de frecuencia/fase según estándares.

Interfaz	Retardo de tiempo o Latencia	Jitter	Tasa de pérdida de errores de paquetes	
S1	Mejor	≤ 5ms	≤ 2ms	≤ 0.0001%
	Recomendado	≤ 10ms	≤ 4ms	≤ 0.001%
	Tolerable	≤ 20ms	≤ 8ms	≤ 0.5%
X2	Mejor	≤ 10ms	≤ 4ms	≤ 0.0001%
	Recomendado	≤ 20ms	≤ 7ms	≤ 0.001%
	Tolerable	≤ 40ms	≤ 10ms	≤ 0.5%

Figura 11. Requerimientos generales para las interfaces S1 y X2 de LTE.

diferente para el eNodeB y el MME. Cuando las estaciones y su control se encuentran en diferentes sistemas autónomos y el despliegue del reloj es distribuido por cada IPRAN estamos en presencia de la opción 1. Esto simplifica el despliegue de arquitecturas de reloj pues es similar al empleado en redes 2G y 3G, tampoco hay requerimientos específicos para el Core IP. El despliegue es en parte distribuido, con la posibilidad para conexiones de los BITS en serie aplicable a redes de pequeña y mediana escala. Sin embargo, en materia de costos estos despliegues representan una inversión mayor, aunque no se puede dejar de tener en cuenta que una vez que los relojes existan pueden ser reutilizados acorde a los cambios de arquitecturas sin mucha complicación.

La figura también presenta la opción 2 con un despliegue centralizado del reloj adjunto a los elementos de control SGW/MME. Este tipo de esquema tiene un costo de implementación relativamente pequeño pero en cambio sufre de las siguientes desventajas:

La red del Core IP (BB IP/MPLS) debe ser capaz de soportar la denominada función salto a salto

1588v2 y SyncE y esto usualmente no es soportado por los router IP de Core.

La posibilidad o probabilidad de que en estos tipos de esquemas el número de saltos supere los 20 es bastante grande lo cual representa un impedimento.

Por otra parte, tendría que delegarse en la gestión de la red IP de Core el control y el mantenimiento del reloj lo cual no es muy usual.

De todo lo anterior resulta que la opción 1 sea recomendada cuando se trata de redes que operen diferentes sistemas autónomos para el control y las estaciones. (Figura 13)

Atendiendo a las particularidades de la red de ETECSA, se recomienda desplegar 1588v2 en caso de que la red requiera frecuencia y fase. Luego, qué perfil implementar, G.8275.1 o G.8275.2, es decir, salto a salto o extremo a extremo, sería decisión del operador teniendo en cuenta diferentes criterios, entre ellos el económico.

Otra opción será brindar el sincronismo de frecuencia a nivel de capa física con SyncE y para la sincronización

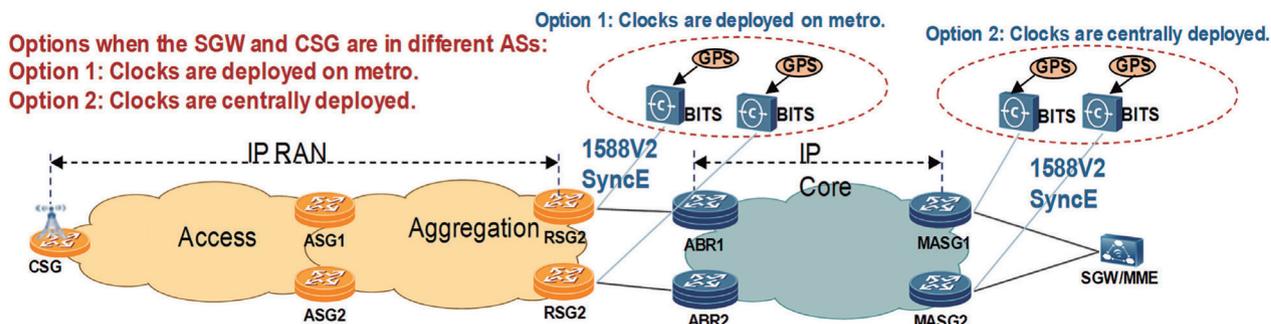


Figura 12. IP RAN y Core IP.

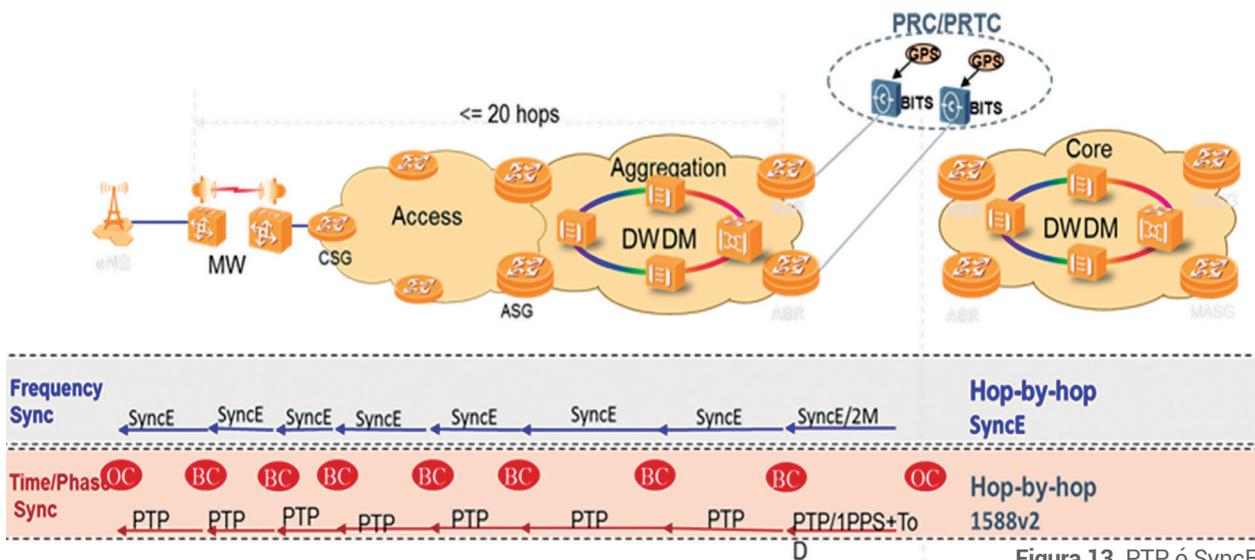


Figura 13. PTP ó SyncE.

de fase y tiempo utilizar 1588v2 a manera de un esquema híbrido.

En caso de que la red solo requiera sincronización de frecuencia, se pueden manejar las dos opciones, 1588v2 y SyncE. Sin embargo, con 1588v2 está la posibilidad de implementar extremo a extremo, que reduciría costos, mientras que con SyncE cada elemento de la red tendría que soportar este método, lo cual aumentaría los costos de implementación.

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, existen tecnologías de transporte diversas, muchas rutas IP y asimetrías y por lo general los elementos de red no soportan 1588v2 ni SyncE. 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.

Al desplegar G.8275.2 no hay cambios en el hardware de red, se puede brindar fase y tiempo sobre la red MPLS / CE existentes. Elimina la necesidad de que los elementos de red sean BC, mitiga la asimetría como un problema y es simple y fácil de implementar para todas las arquitecturas LTE ya que solamente los últimos elementos serán los que reconozcan 1588v2.

## Conclusiones

Para los especialistas formados en el mundo de las comunicaciones IP e Internet (y la naturaleza asíncrona de los servicios), el sincronismo a veces resulta complejo de entender sobre todo porque se asocia exclusivamente con el protocolo NTP como un componente opcional y vinculado a protocolos de gestión de la red.

Hasta ahora cuando se diseña una red SDH se tiene en cuenta el planeamiento de la solución de sincronismo al ser esta una funcionalidad inherente a las redes SDH/ASON, sin embargo, los ingenieros de IP han diseñado redes de agregación con LAN switch y nunca han tenido en cuenta este requerimiento al no poseer servicios que requieran una buena precisión de sincronización. A partir de ahora no debe esperarse construir primero la red de agregación Ethernet y luego diseñar la solución de sincronismo, es contraproducente, faltarían licencias, módulos, que después habría que tener en cuenta. Es mejor que desde el principio surja esta nueva agregación con este concepto ya incluido.

Este trabajo constituye una herramienta con la cual se ha recopilado información de diferentes fuentes y persigue fundamentalmente organizar y enfocar criterios en lo que respecta sobre todo a la convergencia de MPLS en una agregación y un Core IP.

## Referencias

- Neil, J. (2012). Synchronization Distribution Architectures for LTE Networks, disponible en <http://www.microsemi.com>
- ADVA Optical Networking. Precise Phase Synchronization, disponible en <http://www.oscilloquartz.com>
- Huawei Technologies Co. IP RAN ATN+CX Seamless MPLS Solution Technical White Paper V1.0.
- Huawei Technologies Co. Special Topic – Clock White Paper.
- Huawei Technologies Co. Synchronous Ethernet and IEEE 1588v2 Technology White Paper.
- ITU G.8265.1 Perfil de telecomunicaciones PTP para sincronización de frecuencia, disponible en <https://www.itu.int/es/ITU-T/publications/Pages/default.aspx>
- ITU. G.8275.1 Perfil de telecomunicaciones PTP para sincronización de fase/tiempo con soporte total de temporización de la red, disponible en <https://www.itu.int/es/ITU-T/publications/Pages/default.aspx>
- ITU. G.8275.2 Perfil de telecomunicaciones PTP para sincronización de fase/tiempo con soporte parcial de temporización de la red, disponible en <https://www.itu.int/es/ITU-T/publications/Pages/default.aspx>