



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO



Felipe Andrés León Lazcano

**Estudio de los requerimientos en redes backhaul IP
para implementar sincronismo en fase tiempo y
frecuencia en redes LTE**

Informe Proyecto de Título de Ingeniero Civil Electrónico



Escuela de Ingeniería Eléctrica



Estudio de los requerimientos en redes backhaul IP para implementar sincronismo en fase tiempo y frecuencia en redes LTE.

Felipe Andrés León Lazcano

Informe Final para optar al título de Ingeniero Civil Electrónico,
aprobada por la comisión de la
Escuela de Ingeniería Eléctrica de la
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
conformada por

Sr. Francisco Alonso Villalobos

Profesor Guía

Sr. Paulino Alonso Rivas

Segundo Revisor

Sr. Sebastian Fingerhuth

Secretario Académico

Valparaíso, 21 de agosto de 2018

Agradecimientos

Mis más sinceros agradecimientos para Sr. Rodrigo Ibáñez y Sr. Ruben Castillo, jefe de re diseño y jefe de ingeniería respectivamente de la empresa “Desarrollo de tecnologías y sistemas DTS Ltda.” por darme la oportunidad de desenvolverme profesionalmente en la empresa mientras concluía con mi carrera, siempre prestando el apoyo necesario para poder culminar con éxito esta etapa y por confiar en mi para estar dentro de sus líneas, oportunidades como estas no son fáciles de encontrar, y a mi le la brindaron , por este motivo sobran las palabras de agradecimiento.

Al profesor de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Sr. Francisco Alonso, por brindarme siempre la oportunidad de concluir este proceso bajo su apoyo y supervisión. Todas las veces que poseía dudas no dudaba en guiarme por el camino del éxito de manera informal, Profesor, realmente muchas gracias por el apoyo brindado. Faltan docentes con su disposición y apoyo al estudiante.

Valparaíso, 07 de Agosto de 2017

F. L

Resumen

Para cualquier empresa u organización de telecomunicaciones, disponer de un flujo rápido de información es parte crucial del proceso de telecomunicaciones, más aun en el área de la telefonía móvil, en el cual se requieren transmisiones “en vivo” de la información.

Con el auge de este tipo redes de telefonía móvil es que se establece el nuevo estándar de cuarta generación 4G, en la cual se desea establecer un estándar de tráfico que en este caso sea netamente digital. En este punto, se presentan las distintas problemáticas asociadas, así como también, las actuales soluciones propuestas como la sincronización de los distintos nodos de esta red con el objetivo de obtener una adecuada calidad de transmisión de la información acorde a los requerimientos de la red sin retrasos o cuelgues.

En este trabajo de título se presenta las tecnologías actualmente utilizadas dentro del proceso de sincronización de nodos de la red con el fin de obtener un tráfico de información acorde a los requerimientos que necesitan los distintos servicios que se podrían utilizar dentro de esta misma. Dentro de las tecnologías asociadas al tema de estudio, se pueden destacar IEEE1588v2, Synchronous Ethernet (SyncE), y la base de estos protocolos que es Network Time Protocol, cuya teoría de funcionamiento fue la base para el desarrollo de tecnologías de sincronización. Siempre tomando en consideración que estas nuevas tecnologías de sincronización deben reemplazar y en otros casos coexistir con las tecnologías legadas de la red, es decir las generaciones pasadas de desarrollo. En este trabajo se presenta un estudio de cada una de las tecnologías asociadas a la solución de la problemática exponiendo sus contenidos y sus principios de funcionamiento, la decisión de cual elegir varía según los requerimientos del diseñador de la red, y de los requerimientos de la misma.

Índice general

Introducción.....	1
1 Problemática.	2
1.1 ¿Qué sucede en la actualidad?	2
1.2 Estado del arte.	2
1.3 Gran cantidad de tecnologías coexistentes.	3
1.4 ¿Qué se entiende por Backhaul?	3
1.5 Backhaul Móvil.....	4
1.5.1 Introducción.	4
1.5.2 Backhaul heredado o legado.	4
1.5.3 Evolucionando a un backhaul IP.	5
1.5.4 Backhaul LTE.	6
1.5.5 Adopción de Ethernet	7
1.5.6 Entrega de servicios de backhaul IP.....	9
1.6 Requerimientos y principales problemas en un backhaul LTE.	9
1.6.1 Despliegues de Carrier Ethernet en bakchaul Ethernet.	12
2 Evolución de la arquitectura de acceso.	16
2.1 Introducción.....	16
2.2 Aprovechando el espectro.....	16
2.2.1 Aumento de la capacidad en la red de acceso por radio (RAN).	16
2.2.2 Cancelación de interferencia con Eicic (Mejora de la coordinación interferencial intercelular).	17
2.2.3 Prevención de interferencias con CoMP (Transmision multipunto coordinada)	18
2.3 Impacto en la arquitectura de Backhaul móvil.	19
2.4 Sincronización de tiempo y fase en redes móviles de Backhaul.....	19
2.5 Procesamiento centralizado de banda base y red Fronthaul.....	20
3 Introducción a la sincronización en redes móviles.	23
3.1 Definición de sincronización.....	23
3.2 Sincronización en frecuencia.	23
3.3 Sincronización en tiempo.	23

3.3.1 Tiempo de servicio (Service Time).....	24
3.3.2 Tiempo de mantenimiento.....	24
3.4 ¿Sincronización en el backhaul?	25
3.4.1 Sincronización de nodos en un backhaul Ethernet	26
4 Principales tecnologías asociadas.....	27
4.1 Introducción.....	27
4.2 Network Time Protocol (NTP).	27
4.2.1 Introducción.	27
4.2.2 Configuraciones de NTP.	28
4.2.3 Aproximación a la arquitectura NTP.	28
4.2.4 Características del paquete enviado en NTP.	29
4.2.5 Modelos de funcionamiento NTP.	31
4.2.6 Ejemplo de funcionamiento.	34
4.3 IEEE 1588v2 (Precision Time Protocol).....	44
4.3.1 Introducción.	44
4.3.2 ¿Cómo funciona IEEEv2?	44
4.3.3 Dominio de reloj.....	46
4.3.4 Nodos como relojes.....	46
4.3.5 Mensaje utilizados dentro del protocolo.....	47
4.3.6 Fase 1.	47
4.3.7 Fase 2.	47
4.3.8 Modos de operación.....	48
4.3.9 Encapsulación del paquete en 1588v2.....	53
4.3.10 Sincronización en frecuencia con 1588v2.	54
4.3.11 Perfil PTP con soporte completo en ruta (G.8275.1 [8])	55
4.4 Synchronous Ethernet.....	57
4.4.1 Introducción.	57
4.4.2 Evolución en Synchronous Ethernet.	57
4.4.3 Evolución según estándares establecidos.	58
4.4.4 Publicación G8010 [21] “Arquitectura Ethernet”	60
4.4.5 Publicación G8262 [17] “Ethernet Equipment slave clock”	61
4.4.6 Modos de operación.....	62
Discusión y conclusiones.....	64
Bibliografía	66

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Evolución de la red (Fuente: Elaboración propia) 4

Figura 1-2 Backhaul Legado (Fuente: Elaboración propia)..... 5

Figura 1-3 Arquitectura LTE (Fuente: Arquitectura y evolución de redes móviles 4G-LTE, Nelson Cubillos, Bogotá 2014). 6

Figura 1-4 Dominios de la red (Fuente: Elaboración propia). 7

Figura 1-5 Interfaces S1 y X2 (Fuente: Elaboración propia) 10

Figura 1-6 SDH y Ethernet (Fuente: Elaboración propia) 10

Figura 1-7 Ethernet IP/MPLS (Fuente: Elaboración propia)..... 11

Figura 1-8 IP/MPLS (Fuente: Elaboración propia). 11

Figura 1-9 Escenario de distribución 1 (Fuente: Elaboración propia). 12

Figura 1-10 Escenario de distribución2 (Fuente: Elaboración propia) 13

Figura 1-11 Escenario de distribución 3 (Fuente: Elaboración propia). 13

Figura 1-12 Escenario de distribución 4 (Fuente: Elaboración propia). 14

Figura 1-13 Escenario de distribución 5 (Fuente: Elaboración propia) 15

Figura 4-1 Aumento de la capacidad de acceso de radio (Fuente: Elaboración propia). 17

Figura 4-2 Cancelación de interferencias con eICIC (Fuente: Elación propia). 18

Figura 4-3 Prevención de interferencias con CoMP (Fuente: Elaboración propis) 18

Figura 4-4 Impacto en la arquitectura de Backhaul móvil (Fuente: Elaboración propia). 19

Figura 4-5 Comunicación intercelular por X2 (Fuente: Elaboración propia) 21

Figura 4-6 Introduccion de estacion base dividida (Fuente: Elaboración propia). 22

Figura 2-1 Sincronización en general. (Fuente: Elaboración propia) 23

Figura 2-2 Frecuencia (Elaboración propia)..... 24

Figura 2-3 Fase (Elaboración propia). 25

Figura 3-1 Distribución en nivel de Stratum. 29

Figura 3-2 Paquete enviado en NTP (Fuente: Cisco Internet protocol jourmnal) 30

Figura 3-3 Formas de distribución (Fuente: Elaboración propia) 31

Figura 3-4 Modo cliente / servidor (Fuente: Elaboración propia)..... 32

Figura 3-5 Modo peer (Fuente: Elaboración propia). 33

Figura 3-6 Modo broadcast (Fuente. Elaboración propia)..... 34

Figura 3-7 Arquitectura usada en simulación. 35

Figura 3-8 Mensaje enviado por Router0..... 35

Figura 3-9 Datos importantes del mensaje de Router0. 36

Figura 3-10 Mensaje enviado por Cable Modem. 36

Figura 3-11 Datos importantes del mensaje de salida Cable Modem. 37

Figura 3-12 Datos más importantes del mensaje..... 37

Figura 3-13 Mensaje enviado por Server Switch. 38

Figura 3-14 Detalle del mensaje enviado por server switch..... 38

Figura 3-15 Mensaje enviado por el servidor..... 39

Figura 3-16 Análisis del mensaje enviado por servidor. 39

Figura 3-17 Mensaje de respuesta 40

Figura 3-18 Mensaje enviado por el servidor..... 40

Figura 3-19 Mensaje que sale de Router ISP	41
Figura 3-20 Mensaje que llega a cable modem	41
Figura 3-21 Información del mensaje	42
Figura 3-22 Mensaje que llega nuevamente al Router.....	42
Figura 3-23 Detalles del mensaje que envió el Servidor	43
Figura 3-24 Viaje del mensaje de Actualización	43
Figura 3-25 Ejemplo de sincronización mediante PTP (Fuente: Elaboración propia)	45
Figura 3-26 Delay Mode (Fuente. Elaboración propia).	49
Figura 3-27 Intercambio mensajes PTP (Fuente: Elaboración propia).....	50
Figura 3-28 Pdelay mode (Fuente: Elaboración propia).....	51
Figura 3-29 Ejemplo de funcionamiento de BC o OC (Fuente: Elaboración propia).....	52
Figura 3-30 Corrección asimétrica (Fuente: Elaboración propia)	53
Figura 3-31 Encapsulado Unicast capa 3 sin VLAN (Fuente: Elaboración propia).	54
Figura 3-32 Encapsulado Unicast capa 3 con VLAN (Fuente: Elaboración propia).	54
Figura 3-33 Despliegue según G8275.1 (Fuente: Elaboración propia.)	56
Figura 3-34 Evolución en arquitectura de la red.	58
Figura 3-35 Esquema de distribución de reloj SyncE (Fuente: Elaboración propia.)	61
Figura 3-36 Relojes de Synchronous Ethernet (Fuente: Elaboración propia.)	62

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Cuadro resumen tecnologías utilizadas en la red	15
Tabla 4-1 Unidades componentes fronthaul.....	20
Tabla 2-1 Requerimientos de sincronización.	25
Tabla 3-1 Valores que puede tomar el campo MODE (Fuente: Cisco Internet protocol journal)	30
Tabla 3-3 Fase 2	47
Tabla 3-4 General Messages	48
Tabla 3-5 Tabla resumen de tecnologías.	63

GLOSARIO DE TÉRMINOS.

IP	Internet Protocol
TDM	Time Division Multiplexing
4G	4° Generación de redes móviles.
SYNCE	Synchronous Ethernet
NTP	Network Time Protocol
LTE	Long Term Evolution
eNodeB	Evolved Node B,
3G	3° Generación de redes móviles
E1/T1	Interface Standart
IEEE1588v2	Precision Time Protocol.
GSM	Global System for Mobile Communications
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
GPS	Global Position System
2G	2° Generación de telecomunicaciones móviles
ADSL	Asymmetric digital subscriber line
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BSC	Base station controller
RNC	Radio Network Controller
PDH	Plesiochronous digital hierarchy
WAN	Wide Area Network
LAN	Local Area Network
ACR	Adaptive Clock Recovery
PTP	Presicion Time Protocol
UTC	Coordinated Universal Time
TAI	International Atomic Time
DTSS	Digital Time Synchronization Service
PC	Computador Personal
NTPV4	Network Time Protocol Version 4.
LI	Leap Indicator
VN	Version Number
MF	Modelfield
LAN	Local Area Network
SNTP	Simple Network Time Protocol
TC	Transparent Clock
BC	Boundary Clock
GM	Gransmaster Clock
E2E	End to End
P2P	Peer to Peer
ETH	Capa Paquetes Ethernet
ETY	Capa Fisica Ethernet
OSI	Open Systems Interconnection
CES	Circuit emulation service
QL	Quality Level
ITU	International Telecommunication Union.
EEC	Ethernet equipment slave clock
SSM	Synchronization Status Message
ESMC	Ethernet Synchronization Message Channel
TLV	Type length value

MEF
IETF
CPRI
RRH
RRU
sGW
aGW

Metro Ethernet Forum
Internet Engineering Task Force
Common Public Radio Interface
Remote Radio Head
Remote Radio Unit
Serving Gateway
Access Gateway

Introducción

No cabe duda de la rapidez con la que evolucionan las redes al día de hoy, pero no hay que perder de vista que aún o más bien siempre ha existido una infraestructura TDM coexistiendo con las nuevas redes IP y ambas deben comunicarse entre sí de igual manera, claro es que todo apunta a que en un futuro la infraestructura completa debe ser netamente digital, ya que así se determinó que debía ser el Backhaul de redes de 4G. Para poder llegar al objetivo que es una infraestructura que sea en su totalidad IP, se debe escalar ya que las tecnologías legadas aún se encuentran presente e interactuando junto a la red IP de nueva generación, en otras palabras la tecnología TDM debe ser desplazada para poder llevar a cabo el objetivo, aunque en algunas características puede ser muy útil como la transmisión de reloj por líneas físicas la cual es una manera muy fiable de obtener una referencia de sincronización para la red .

Como el objetivo es el transporte de la información lo más fluido posible, una red de Backhaul 4G pretende ser netamente IP o en otras palabras se investiga la mejor manera de transportar paquetes IP sobre redes Backhaul de tecnología móvil independiente de su origen sin perder la cadena de sincronismo haciendo referencia a conceptos en este tema y también estándares como lo son IEEE1588v2 y SyncE entre otros, los cuales son los protocolos recomendados por organizaciones mundiales. No queda fuera del estudio el protocolo NTP cuyo funcionamiento es la base para la evolución de los nuevos estándares los cuales se abordaran con mayor profundidad dentro del desarrollo de este estudio.

Si bien las tecnologías anteriormente ya están publicadas, el conocimiento sobre estas, aplicándolas en soluciones reales, aún está en estudio. El tiempo y la experiencia de cada proveedor de servicios, como también futuras publicaciones que puedan salir a la luz por algunas de las organizaciones encargadas de normar o de entregar recomendaciones en redes de tecnología móvil podrán brindar nuevas aristas para un estudio futuro, ya sea nuevas problemáticas encontradas, como también nuevas soluciones aplicables a la problemática que se desea resolver para así brindar para un correcto funcionamiento de la red completa.

1 Problemática.

1.1 ¿Qué sucede en la actualidad?

A día de hoy, la evolución de las redes móviles trajo consigo un aumento en las prestaciones del servicio como también algunos problemas al momento de ver cómo transferir esa cantidad de datos en redes Backhaul sin perder el sincronismo. El estudio de estas redes se desenvuelve en 2 áreas, la evolución del acceso, en la cual el número de peticiones cada vez es mayor debido a la creciente necesidad de ancho de banda por parte de los usuarios como también la evolución de la red, en la cual la infraestructura en general tiende a evolucionar de acorde a los requerimientos que así lo necesitan. El acceso está evolucionando tanto en términos de capacidades más altas, así como en lograr latencias más bajas para mejorar la experiencia del usuario y los requisitos del servicio, en este sentido los operadores móviles están enfrentados a un gran desafío, decidir qué solución de red “punto a punto” puede brindar la mejor experiencia.

Cuando se habla de evolución de la red, se hace referencia a establecer todas las arquitecturas IP en aquellas radios bases autónomas como lo son en LTE, los eNodeBs. En este sentido el desafío que enfrentan los operadores móviles es gestionar la migración de la red hasta llegar a una estructura completamente IP.

Los sistemas designados para el backhaul en LTE deben cumplir requerimientos básicos que se mencionan a continuación:

- Mayores Capacidades.
- Latencias más bajas.
- Mejora de servicios.
- Soporte de redes legadas.
- Sincronización.

En donde la sincronización juega un papel fundamental al momento de obtener la precisión requerida dentro de la red.

1.2 Estado del arte.

Hoy por hoy, las aplicaciones inalámbricas, poseen una de las mayores demandas en sincronización en frecuencia, por ejemplo las diferentes frecuencias que se encuentran en diferentes estaciones base deben ser altamente precisas para eliminar la caída o bloqueo del

servicio durante el handover, que es cuando el celular se cambia de celda debido , por ejemplo, a un viaje en la carretera.. En 3G las diferentes redes que operan bajo diferentes estándares tienen requerimientos estrictos para sincronización en fase y frecuencia. Las radio bases pueden re-sincronizar las señales de reloj desde los link E1/T1 en una transmisión TDM, la transmisión del reloj a la estación base no está soportada en la capa física en una transmisión IP, hace falta de otra tecnología para resolver este problema. Las soluciones más renombradas hasta el momento son Synchronous Ethernet (SyncE), Adaptive clock Restoration e IEEEv2. A modo de comprensión general, en SyncE, un reloj de alta precisión está localizado en la interface de Ethernet para enviar datos, y rearmarlos en el destino, de esta manera obtiene el reloj. Esta tecnología cumple completamente los requerimientos en comunicaciones de redes GSM y WCDMA. La solución anterior, SyncE, solo puede sincronizar frecuencia, pero la sincronización en fase es igual de importante y aquí es donde 1588v2 entra en juego. Hoy en día, solo el protocolo 1588v2 puede reemplazar al GPS y brindar sincronización en frecuencia y fase, siendo una solución de muy buen costo y seguridad en la red haciéndolo la mejor elección por los operadores.

1.3 Gran cantidad de tecnologías coexistentes.

La problemática es la misma planteada con anterioridad, el resultado que trajo consigo la explosiva evolución de dispositivos móviles hizo que se deseara disponer de nuevos requerimientos, hasta llegar a una red basada en la transmisión de paquetes, como es lo que ocurre con 4G LTE, pero uno de los temas esenciales para el correcto funcionamiento de la red es la sincronización de todos los nodos con la finalidad de obtener un correcto funcionamiento y la disponibilidad de nuevos servicios para desarrollar o para desplegar. Si bien las redes 4G ya son en un plano digital, estas redes deben convivir con las redes legadas las cuales pueden ser 2G y 3G, para así conformar una red más grande y abarcar todas las tecnologías desarrolladas años atrás junto con las desarrolladas hoy en día y todas estas deben ser capaz de comunicarse unas con otras sin perder la cadena de sincronismo.

1.4 ¿Qué se entiende por Backhaul?

Hasta hace una época reciente, las tecnologías utilizadas para el acceso a redes de telecomunicaciones se acomodaron con la infraestructura instalada 20 o 30 años atrás para telefonía análoga. Con el paso del tiempo ocurrieron sucesos importantes:

- Los usuarios acostumbrados a ADSL aumentaron su tráfico en un factor de 10 en telefonía celular con la llegada de LTE y en un factor de 50 a 100 con la llegada de la fibra óptica a lugares residenciales.
- El abandono del modo circuito (TDM o ATM) por el modo paquete, esto comenzó con el ADSL.

Es por eso que el traer un tráfico 10 veces más elevados que en años atrás es un desafío técnico y económico para los operadores, esta es la función del backhaul. Una de las funciones es permitir el acceso a los usuarios a la red de transporte para que puedan acceder a plataformas de servicios más centralizadas. El compromiso entre elección de tecnologías y costos depende obviamente de los tipos de servicios usados y de la densidad geográfica de sus puntos de utilización.

1.5 Backhaul Móvil.

1.5.1 Introducción.

La gran proliferación que poseen los dispositivos móviles hace que cada vez se necesite un mayor ancho de banda ya que el usuario necesita aplicaciones que así lo requieren, por este motivo es que el Backhaul adoptado anteriormente no era escalable a nivel de costos por lo cual se debió actualizar esta red desde 3G a 4G LTE. El Backhaul legado el cual usa tecnología TDM no es escalable a nivel de costos ya que es más costoso y la escalabilidad en ancho de banda que se necesita a futuro no se lograría, por lo que se debió adoptar una nueva tecnología que cumpla con los requerimientos de los proveedores. El cambio de tecnologías no es tan simple, lleva consigo distintos problemas que se deben abordar y uno de estos es la sincronización que debe llevar la red, en la figura 1-1 se muestra como es la evolución de la red.

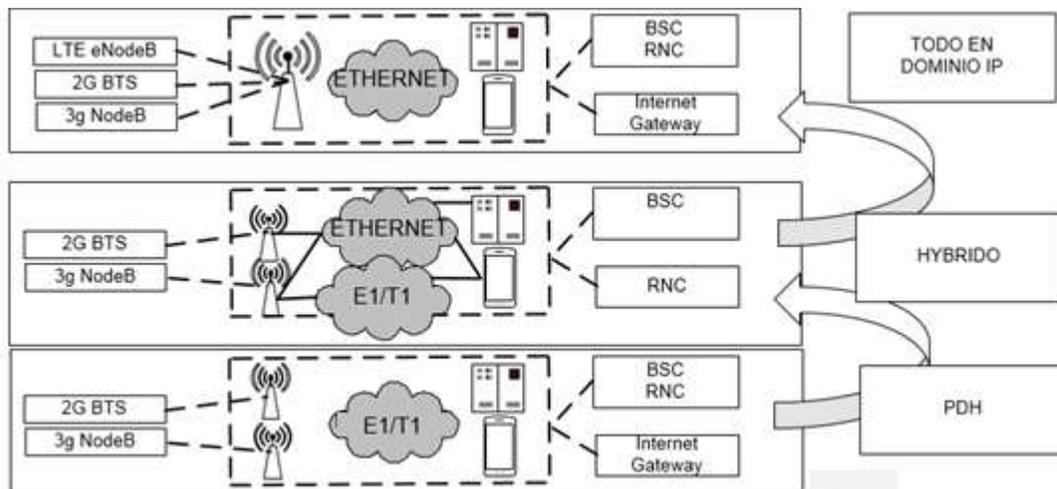


Figura 1-1 Evolución de la red (Fuente: Elaboración propia)

1.5.2 Backhaul heredado o legado.

Los sistemas celulares fueron diseñados inicialmente para transportar sólo tráfico de voz. Dado que transportar voz digitalizada era una tecnología madura y bien entendida, no había necesidad de tomar un camino diferente para el backhaul del tráfico de voz en sistemas celulares iniciales. El uso de TDM tenía obvias ventajas entre las que eran:

- Uso del mismo equipo utilizado en la transmisión de voz por cable.
- La familiaridad del personal técnico con los conceptos de TDM y la solución de problemas.
- Capacidad de utilizar los sistemas existentes de operaciones, administración, mantenimiento y aprovisionamiento.

El trabajo inicial para ofrecer servicio de datos sobre sistemas celulares naturalmente se centró en la adición de transmisión de datos a la infraestructura de voz existente. El Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) adoptó enfoques similares. Los servicios de datos de los años /*

noventa fueron muy lentos, incluso en comparación con los módems de consumo de la época. Los estándares desarrollados a finales de los años noventa y desplegados a principios de los años 2000 mejoraron las velocidades de transferencia de datos. TDM estaba claramente arraigada como una tecnología fundamental para la comunicación de datos en las redes celulares que entran en los primeros despliegues de tecnología 3G.

La figura 1-2 representa la porción de Backhaul de la red MNO y cómo encaja en la arquitectura más amplia.

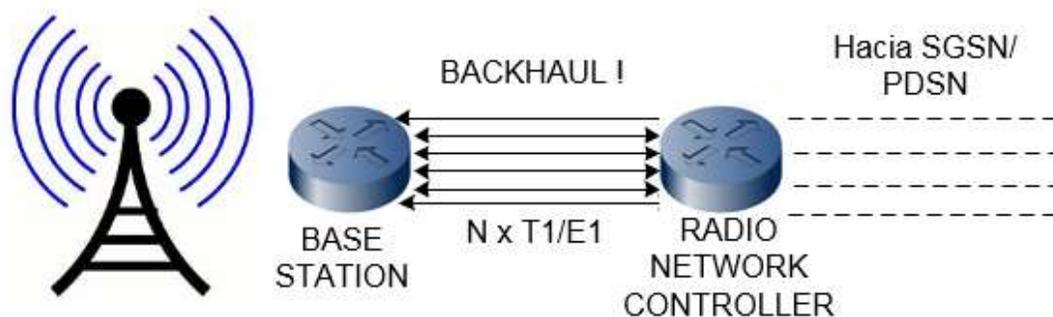


Figura 1-2 Backhaul Legado (Fuente: Elaboración propia).

1.5.3 Evolucionando a un backhaul IP.

En cualquier red jerárquica, los diseñadores deben especificar cómo la capa de acceso distribuye el tráfico al núcleo. En las redes de operadores de redes móviles (MNO), el transporte de voz y datos de los sitios de celdas a las redes centrales de los MNO inalámbricos se denomina Backhaul. El Backhaul de multiplexación por división de tiempo (TDM) ha dominado los despliegues de Backhaul desde el inicio de la comunicación inalámbrica. El arrendamiento del acceso Backhaul de múltiples T1s / E1s para cada sitio de la célula se vuelve prohibitivamente caro en términos de gastos de operación, particularmente para los proveedores que no poseen la última milla. Las tecnologías celulares 3G / 4G de hoy han impulsado un cambio importante en la red de Backhaul, que es la transición de TDM a un Backhaul basado en paquetes.

Ethernet es la tecnología de Backhaul basada en paquetes más extendida. Si bien este servicio es una gran mejora de costos y escalas con respecto al Backhaul de TDM, Carrier Ethernet es un trampolín en la evolución de las redes de Backhaul.

1.5.4 Backhaul LTE.

La introducción de LTE hizo que fuera necesario realizar un estudio detallado de la red Backhaul que permitiera a los operadores conectar los eNBs al MME y al S/P GW, sin que afecte el servicio y adaptándose a los nuevos requerimientos de la estructura de manera transparente, esto se puede apreciar en la siguiente figura.

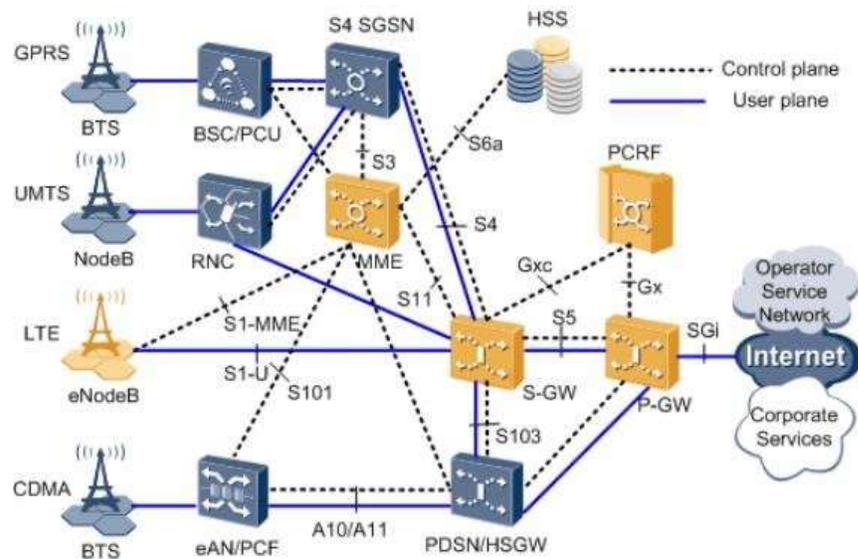


Figura 1-3 Arquitectura LTE (Fuente: Arquitectura y evolución de redes móviles 4G-LTE, Nelson Cubillos, Bogotá 2014).

La red Backhaul es el medio de transporte dentro de la RAN, entre las estaciones base y los controladores necesarios. El término controlador engloba a los elementos frontera de la red EPC, como son los MME, SGW, y PDN GW en las redes 4G, los RNC en redes 3G y las MSC en redes 2G. Una red de Backhaul está compuesta por tres dominios:

- Core.
- Agregación.
- Access.

Los bordes de cada dominio son definidos por la tecnología y la topología de cada uno de ellos. La red de acceso se conecta a las BTSs en las celdas generalmente por medio de micro-ondas de radio aunque también es posible encontrar fibra o coaxial. Se subdivide en primera milla y segunda milla, haciendo referencia a las diferentes topologías físicas que se pueden encontrar dentro del mismo dominio. En la red Agregación, las topologías más comúnmente encontradas son las de anillo o malla, normalmente sobre conexiones ópticas. La conexión entre controladores y las redes EPC se realiza por medio de dominio del Core, el cual es una red IP/MPLS en la mayoría de los casos. Los diferentes dominios se ven definidos en la figura 1-4.

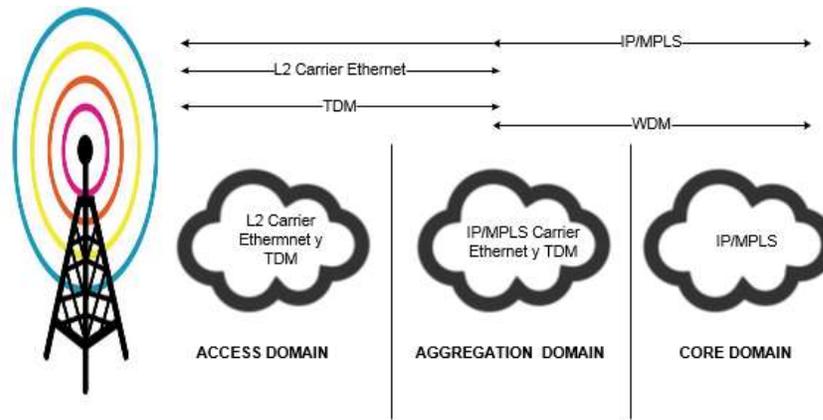


Figura 1-4 Dominios de la red (Fuente: Elaboración propia).

1.5.5 Adopción de Ethernet

Ethernet rápidamente surgió como la tecnología de backhaul más popular para reemplazar la infraestructura de acceso TDM. Las varias iteraciones de Ethernet de los años 70 a los 2000s habían superado a otras tecnologías LAN en el mercado, y en la vuelta del siglo el Gigabit Ethernet aprovechó su éxito en el mundo LAN para hacerse popular en el WAN, lo anterior debido a que tenía varias ventajas importantes:

- Gran caída por coste por bit.

Ethernet permitiría a los proveedores alterar drásticamente su modelo de costo de acceso suplantando la envejecida y costosa infraestructura de TDM. Con el precio que los consumidores estaban dispuestos a pagar por mes de servicio de datos permaneciendo relativamente estancado, este ajuste al modelo de costo fue crítico.

- Ethernet se puede transportar a través de más tecnologías subyacentes.

Sincronización de redes ópticas / jerarquía digital síncrona, procedimiento de enmarcado genérico (GFP), y Multiprotocol Label Switching (MPLS) por dar algunos ejemplos.

- Interfaces Ethernet ubicuas y económicas.

Ethernet ganó la batalla por el dominio de LAN. La tecnología no se limitaba a los ordenadores personales tradicionales y los servidores, sino que un sinnúmero de equipos electrónicos comerciales poseen una interfaz Ethernet. Esta ubicuidad en los espacios comerciales y de consumo da como resultado un conjunto diverso de proveedores y economías de escala para vendedores y proveedores.

- Facilidad de mejora de ancho de banda.

Los circuitos TDM tienen un tiempo de implementación medido en meses. Este lento tiempo de respuesta para actualizaciones es un ajuste pobre para un entorno en el que los usos de datos

están aumentando a tasas rápidas. Ethernet es muy diferente, un aumento en el ancho de banda a un punto final de la red no requerirá un cambio en el equipo a menos que se mueva entre los niveles establecidos de 10, 100, 1000 Mb / s. Dado que el proveedor de servicios Ethernet probablemente utiliza un controlador para mantener a los clientes dentro del nivel de ancho de banda adquirido, un cambio en la configuración del software suele ser todo lo que se requiere para actualizar el ancho de banda. Otra ventaja es que el ancho de banda se puede actualizar en incrementos graduales. Para las empresas que buscan aumentar la velocidad de despliegue de servicio, la capacidad de moverse rápidamente a altas velocidades es muy favorable.

Establecido en 2001, el Metro Ethernet Forum (MEF) [22] desempeñó un papel crítico en la aceptación de Carrier Ethernet por los proveedores inalámbricos y de cable. El MEF no es una organización de estándares como el Internet Engineering Task Force (IETF) [23]. En su lugar, el MEF se basa en el trabajo de los organismos de normalización para establecer tecnología en común, requisitos de servicio y requisitos de interfaz de red. El MEF creó un marco de arquitectura junto con especificaciones de medición y prueba. Aunque el MEF no eliminó las preocupaciones de los proveedores de servicios inalámbricos sobre el Backhaul de paquetes, particularmente en las áreas de jitter, delay y entrega de paquetes, el foro aumentó el nivel de comodidad asociado con los servicios Metro Ethernet. La definición del servicio E-LINE [1] del MEF estableció una ruta orientada a la conexión, un concepto mucho más agradable a las empresas de telecomunicaciones tradicionales que la naturaleza de las redes de conmutación de paquetes que se percibe como “todo vale”.

En la segunda mitad de la década de 2000, muchos proveedores inalámbricos estaban planificando el despliegue del Backhaul basado en Ethernet para el nuevo High Speed Packet Access (HSPA), WiMAX y LTE. Al hacer este cambio radical, los proveedores a menudo tuvieron que considerar la protección de los flujos de ingresos existentes de la voz y los datos. Las tecnologías Pseudowire permitieron el transporte de tráfico TDM a través de redes IP / Ethernet, preservando así la inversión en infraestructura existente. La adopción de los servicios de Carrier Ethernet por parte de los operadores multinacionales no fue sin retos. Los equipos de movilidad como los controladores de red de radio (RNC), las estaciones base y los registros de ubicación de origen se basaban históricamente en interfaces T1 / E1 para la conexión a la red. Los proveedores de telecomunicaciones tuvieron que implementar interfaces Ethernet y tuvieron que renovar completamente los sistemas y procesos de aprovisionamiento, monitoreo de servicios, monitoreo de rendimiento y aseguramiento de servicios.

Las redes de conmutación de paquetes no comparten la naturaleza síncrona de TDM y no tienen campos OAM en los bits de trama. Los operadores ahora tenían que confiar en especificaciones nacientes tales como Y.1731 [2] y 802.1ag [3] para la supervisión del servicio.

El sincronismo y las necesidades de sincronización en las redes móviles se obtienen de la capa física en las redes TDM. Las redes asíncronas como Ethernet / IP no tienen un mecanismo inherente para la sincronización. Mantener un solo enlace T1 / E1 en el sitio de la célula es un método para asegurar la sincronización en un escenario Carrier Ethernet, sin embargo, el uso de protocolos de capa superior es más apropiado, particularmente para las nuevas compilaciones que no tienen circuitos TDM de redes heredadas. Synchronous Ethernet (SyncE), PTP y Network Time Protocol versión 4 (NTPv4) se implementaron en redes Backhaul para proporcionar sincronización. Se puede notar que SyncE transporta información de temporización en

frecuencia sobre la capa física de forma similar al modelo de temporización TDM, mientras que PTP y NTP utilizan IP para el transporte y no dependen de una capa física Ethernet.

Los aspectos de aprendizaje de las redes Ethernet presentan desafíos de escala inherentes para redes muy grandes. Para las redes más grandes que proporcionan servicio a múltiples clientes, el servicio debe escalar en términos de su capacidad. Muchos protocolos han surgido para resolver uno o ambos desafíos, en donde algunos ejemplos son el Servicio de LAN Privada Virtual (VPLS), el Perfil de Transmisión de Etiquetas Multiprotocolo-Transporte (MPLS-TP) [24] y la Ingeniería de Tráfico de Puentes (PBB-TE) [24]. Siendo relativamente nuevas tecnologías, éstas pueden presentar desafíos para los grupos de operaciones.

1.5.6 Entrega de servicios de backhaul IP.

Los proveedores inalámbricos podrían utilizar protocolos como Layer 2 Tunneling Protocol versión 3 (L2TPv3) para construir una superposición de tipo MPLS / VPN para proporcionar separación lógica y prevención de superposición de direcciones. El enfoque preferido para los MNOs sería probablemente un servicio VPN de Capa. Un servicio de Backhaul IP debe ser capaz de enrutar paquetes Ipv6, ya que la vida útil de un servicio Ipv4 solo es limitada. Los MNO no pueden obtener nuevas direcciones Ipv4 para numerar las estaciones base, y usar el espacio RFC 1918 no es un enfoque escalable [4]. El uso de Ipv6 sólo para abordar el equipo de movilidad en los sitios de celdas es el método preferido para superar la escasez de direcciones Ipv4.

El levantamiento pesado de la instalación de fibra y el despliegue de una infraestructura de conmutación de paquetes ya se ha logrado. Además, las compañías que implementan Carrier Ethernet con protocolos como VPLS ya tienen una infraestructura que está lista para IP. El aspecto más difícil de la transición es el trabajo necesario para preparar los sistemas OAM & P para un servicio IP, por supuesto, esto puede variar en función de la implementación.

1.6 Requerimientos y principales problemas en un backhaul LTE.

Según el organismo encargado de la estandarización en lo que a tecnologías de redes móviles se refiere, 3GPP, los principales requerimientos en un backhaul 4G son:

- Red está basada en paquetes.
- Se debe proveer un gran ancho de banda
- Soportar servicios de transporte como MEF, o IETF.

La mayor parte del tráfico del Backhaul sigue un esquema bastante tradicional, de modo que las eNBs envían el tráfico S1 hacia el Core a través de un punto en común. Sin embargo, se introduce una nueva interfaz, llamada X2, para comunicar las BTSs entre si cuando se produce en handover entre ellas, tal como se puede apreciar en la siguiente figura 1-5.

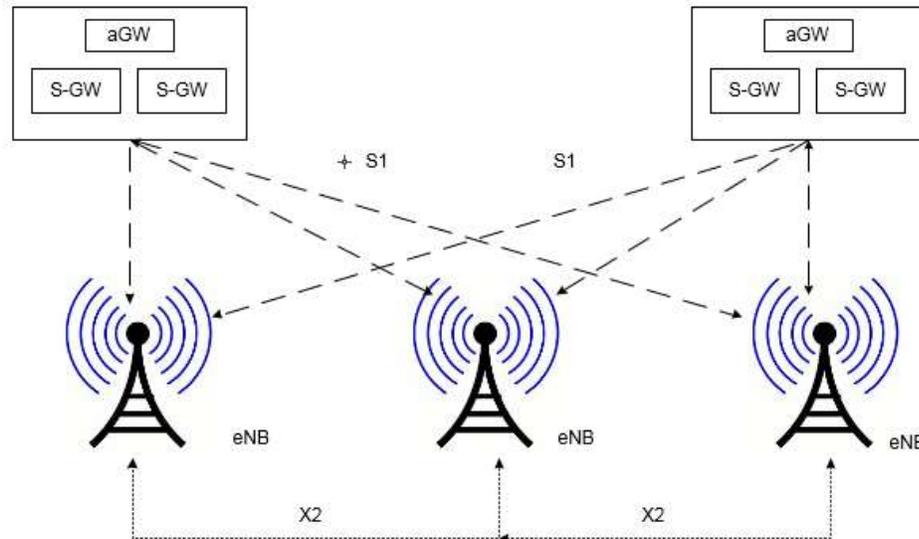


Figura 1-5 Interfaces S1 y X2 (Fuente: Elaboración propia)

Uno de los puntos más críticos de la implantación de LTE es la transformación de las redes tradicionales basadas en tecnologías legacy en redes de solo paquetes. Una de las formas de abordar este tema es desplegar una red LTE que coexista con la red actual hasta que el cambio sea completo. Para llevar esto a cabo, la migración podría basarse en un dominio de Agregación compuesto por una red Ethernet que simplifique la interconexión de las redes existentes y permita seguir el modelo entre controladores RAN o componentes EPC y las estaciones base.

Otra aproximación podría ser el adoptar Ethernet como la tecnología de transporte común de la red de backhaul, desde la celda del sitio hasta la red de Agregación, usando tan solo una red. El principal impacto es el upgrade a Ethernet de cada uno de los elementos de la red y de las estaciones base, incluso aunque Ethernet y el transporte legacy puedan coexistir en el mismo dominio de acceso (Figuras 1-6 y 1-7). Los servicios legacy son mapeados a la capa Ethernet por medio de emulación punto a punto, de aquí en adelante pseudowires, o VLANs. El dominio Agregación podría seguir utilizando SDH pero montado sobre Ethernet.

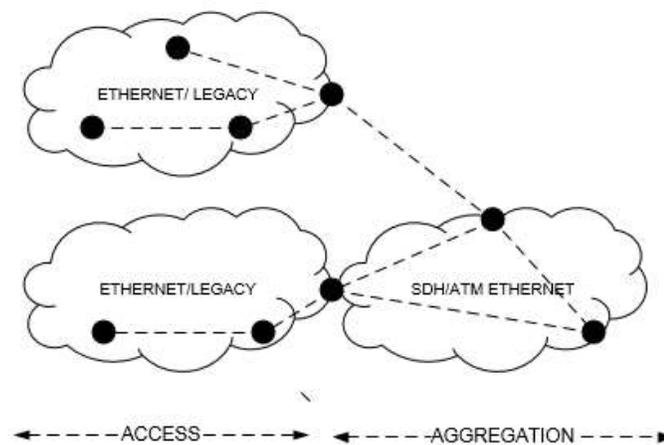


Figura 1-6 SDH y Ethernet (Fuente: Elaboración propia)

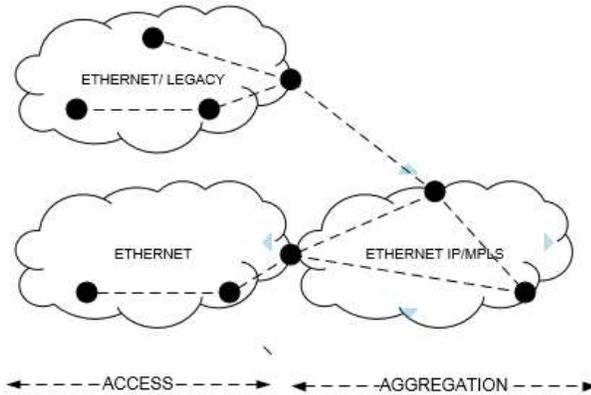


Figura 1-7 Ethernet IP/MPLS (Fuente: Elaboración propia).

Una última aproximación para convertir el backhaul en una red basada en paquetes es desarrollar VPNs viajando sobre MPLS, desde la celda hasta los nodos del borde del Core pudiendo seguir existiendo Ethernet como la capa más baja, con este método se podría usar anillo o malla (ver Figura 1-8).

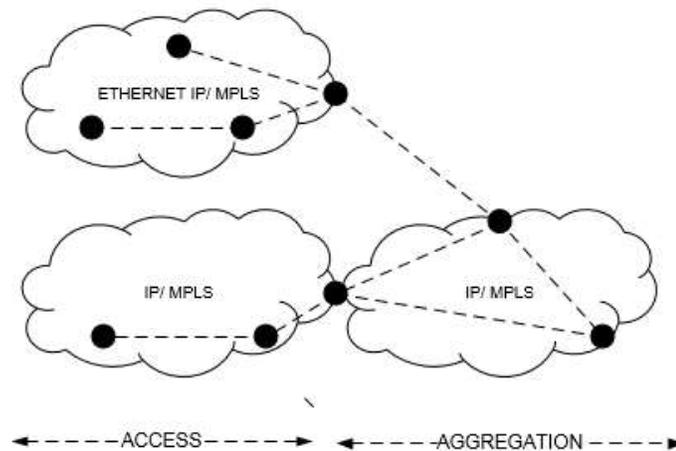


Figura 1-8 IP/MPLS (Fuente: Elaboración propia).

Por simplicidad, todos los escenarios expuestos a continuación han sido definidos sobre Ethernet, ya que esta es la tecnología base sobre la que las redes Backhaul van a ser asentadas. Las interfaces para las estaciones base y los diferentes controladores también están basados en Ethernet. Es importante destacar la diferencia existente entre MPLS y MPLS-TP. Como más adelante se verá, el uso de una u otra de estas tecnologías está estrechamente relacionado con el dominio del que se trate, debido a las diferencias características de cada una de ellas.

Puede decirse que MPLS-TP es creado para poder usar MPLS como un protocolo de transporte más robusto. Las principales diferencias de uno y otro son:

- En MPLS la creación de los caminos es unidireccional. Esto significa que el paquete no tiene por qué seguir el mismo LSP para ir desde A hasta B que de B hasta A. En MPLS-TP estos paths tienen que ser congruentes, es decir, iguales a la ida y a la vuelta. De esta manera se puede avisar al origen de que, por la razón que sea, un nodo intermedio es inaccesible..
- MPLS añade determinismo, OAM y aprovisionamiento estático de caminos congruentes.

En resumen, MPLS-TP provee a los clientes más flexibilidad, determinismo, resistencia y predictibilidad. Por lo general MPLS-TP es usado en la red de acceso mientras IP/MPLS es usado en la red de Agregación.

1.6.1 Despliegues de Carrier Ethernet en backbone Ethernet.

La primera opción mostrada en la figura 1-9 utiliza Ethernet como el medio de transporte sobre el que viajan el tráfico S1 y el tráfico X2. Tanto en la red de Acceso como en la red de Agregación.

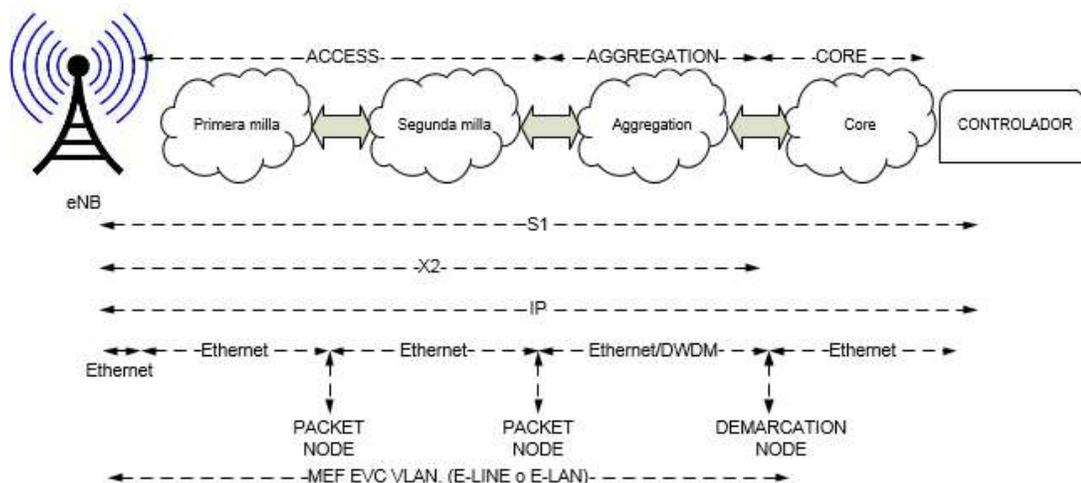


Figura 1-9 Escenario de distribución 1 (Fuente: Elaboración propia).

Otra de las opciones a desplegar es usar Carrier Ethernet en conjunto con L2/L3/VPN, en este caso se usa Ethernet para la red de acceso pero en la red Agregación se encuentra con una topología en anillo o malla, lo cual hace que sea común encontrarse con MPLS como la tecnología utilizada para el dominio de Agregación. La figura 1-10 muestra este despliegue. En el dominio de la red Agregación, DWDM puede encontrarse como alternativa o en conjunto con Ethernet, mientras que MPLS es el protocolo elegido para transportar las VPN L2 o L3 por medio de pseudowires o LSPs. Considerando que en la red de acceso se sigue usando Ethernet, es necesario que exista un nodo de borde entre el dominio de acceso y de Agregación que traduzca las VLANs a la tecnología correspondiente. Otra alternativa puede ser el uso de MPLS-TP en lugar de VLANs en la red de Acceso y en la red Agregación realizar L2 VPN punto a punto.

La red de acceso puede tener cualquier tipo de tecnología física, mientras que en el dominio Agregación MPLS se encarga de ello. OAM punto a punto se consigue mediante pseudowire en conjunto con Ethernet OAM. Es común encontrar en la red de acceso una topología como la estudiada en el escenario anterior pero con un dominio Agregación basado en metro Ethernet o SDH para formar una topología en malla o anillo.

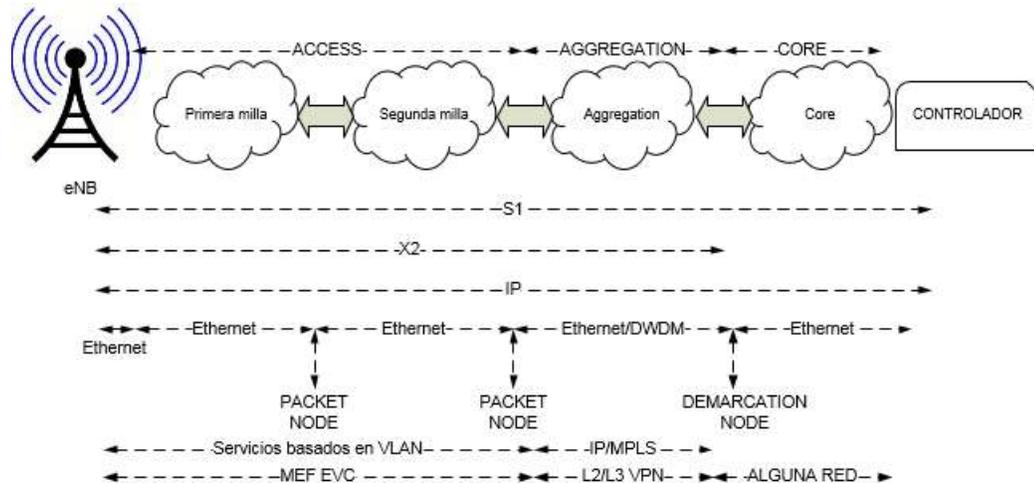


Figura 1-10 Escenario de distribución2 (Fuente: Elaboración propia)

Aparte del despliegue anterior, se puede considerar uno en el que el Backhaul se use MPLS en todos sus dominios. En la red de acceso se puede usar MPLS o MPLS TP para introducir las conexiones punto a punto de las VPNs existentes en la red Agregación. Es otra forma de enfrentar redes con una topología como la del caso anterior

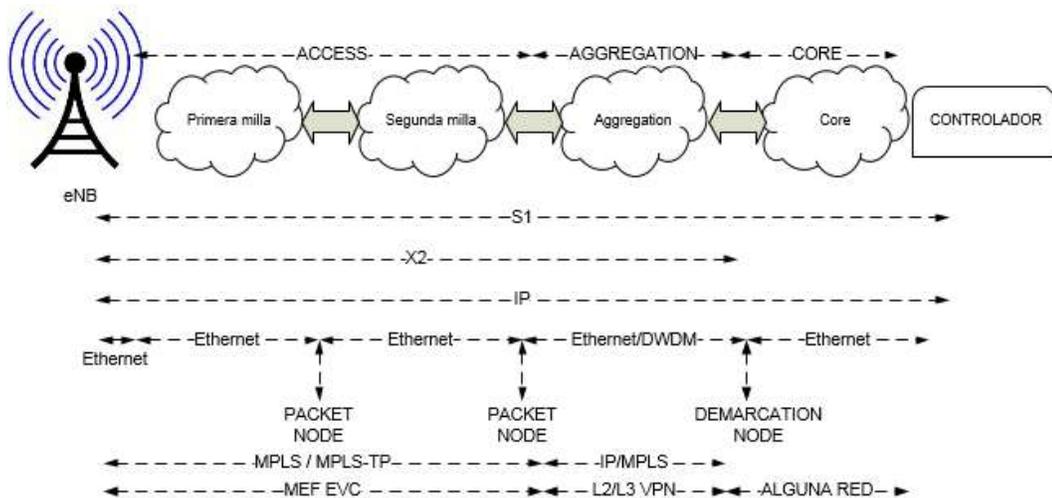


Figura 1-11 Escenario de distribución 3 (Fuente: Elaboración propia).

Una variación del escenario anterior (Figura 1-11), en el cual se añade la opción de agregar el tráfico mediante VPNs junto con el uso de MPLS, así se pueden crear diferentes combinaciones de VPNs pero lo más común es tener una VPN L2 en la red de acceso y una VPN L3 en la red

Agregación, como se ve en la figura 1-12. OAM punto a punto se consigue mediante combinación de diferentes herramientas de los Pseudowires y LSPs. El caso de uso típico de esta configuración es el de aquellas redes en las que el dominio de acceso tiene una topología de anillo o malla basado en micro ondas mientras que en la red Agregación se basa en anillo o malla pero a través de Ethernet o SDH.

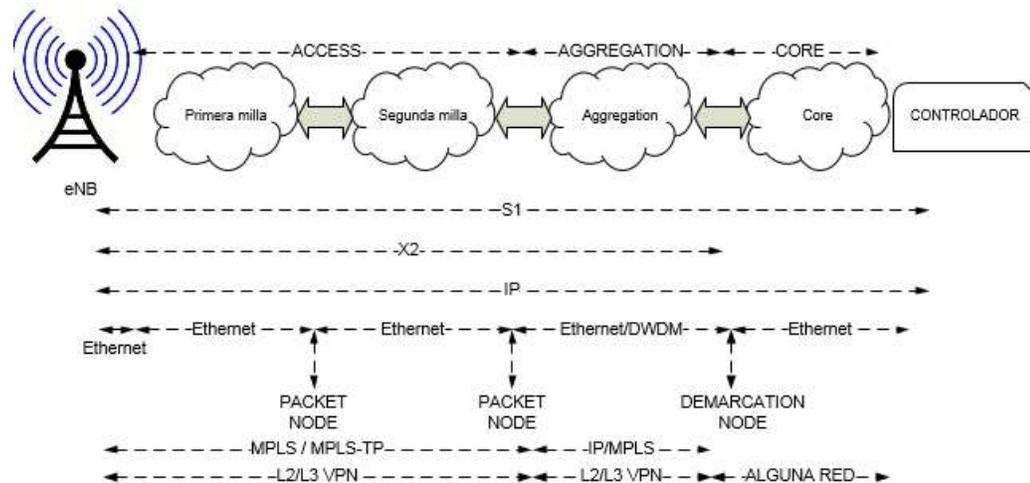


Figura 1-12 Escenario de distribución 4 (Fuente: Elaboración propia).

En un escenario punto a punto Pseudowire se combina el tener un servicio punto a punto a través de diferentes segmentos del mismo Pseudowire pero manteniendo diferentes dominios de seguridad y transporte, teniendo un nodo en el borde Acceso/Agregación que realice o conmute los Pseudowires. En este caso la implementación típica es la de aquellas redes con un acceso basado en árbol o anillo por medio de por ejemplo micro ondas y el dominio Agregación se conecta por medio de metro Ethernet o SDH con topologías de anillo o malla.

Una última aproximación podría ser la de un escenario full L3, ver figura 1-13, esta arquitectura está basada en el uso de MPLS-TP como medio de transporte desde eNB hasta MME y los S/P GWs, sobre el que habilitara una VPN. En este caso la red de Acceso y Agregación se trata como una sola. El caso más común para el uso de este escenario es aquel con un acceso tipo malla basado en microondas, mientras que la red Agregación puede ser de tipo malla o anillo por medio de metro Ethernet o SDH.

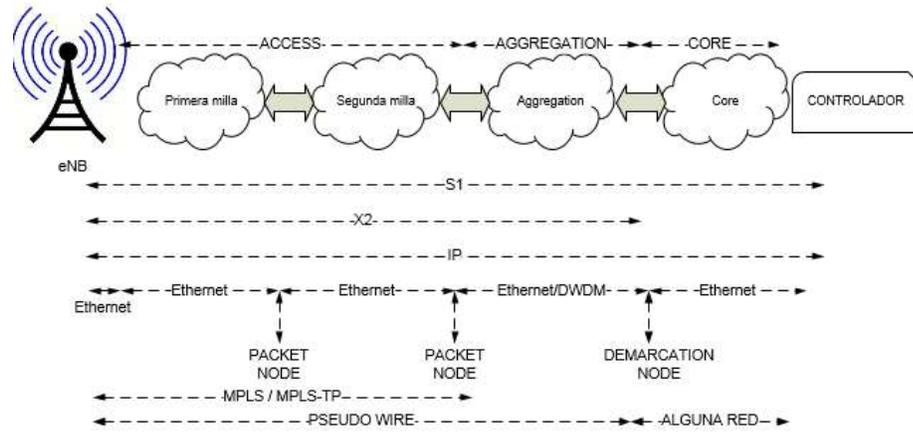


Figura 1-13 Escenario de distribución 5 (Fuente: Elaboración propia)

Un cuadro resumen de las tecnologías mencionadas anteriormente se puede ver en la siguiente tabla.

Tabla 1-1 Cuadro resumen tecnologías utilizadas en la red

Escenario	Red de Acceso	Red de agregación.
1	Ethernet	Ethernet
2	Ethernet / MPLS-TP	MPLS/L2VPN
3	MPLS	MPLS
4	VPNL2	VPNL3
5	Full L3	Full L3

2 Evolución de la arquitectura de acceso.

2.1 Introducción.

Las reglas de competencia en relación con los servicios móviles están cambiando rápidamente. Los clientes ya no seleccionan una compañía basada en precios, sino en calidad de servicio. Esto empuja a los operadores de redes móviles a aumentar aún más la capacidad de acceso por radio y a proporcionar una cobertura continua de la red.

Sin embargo, la capacidad creciente y la cobertura completa en las redes móviles están limitadas por la disponibilidad del espectro. Esto es abordado por LTE-Advanced, que introduce características de radio innovadoras para la eficiencia espectral más alta en el acceso de radio, incluso dentro de los sectores superpuestos por la coordinación de interferencia y el control del espectro de radio con conexiones multipunto. Las tecnologías para la reutilización del espectro permiten la instalación de células adicionales de baja potencia dentro de una macro célula mejorando la cobertura y aumenta la capacidad global de la célula.

Estas tecnologías avanzadas, sin embargo, añaden requisitos adicionales a las estaciones base de interconexión de red y al Evolved Packet Core. La comunicación entre celdas debe satisfacer una demanda más estricta de variación de retardo. Además, la red de backhaul móvil debe ser capaz de distribuir información de fase y tiempo de una manera muy precisa. Esas exigencias difícilmente pueden ser satisfechas por las redes de backhaul móviles existentes, creando una tarea desafiante para migrar las redes existentes o complementar la base instalada con conceptos alternativos

2.2 Aprovechando el espectro.

Algunos de los métodos para hacer un mejor uso del espectro son:

2.2.1 Aumento de la capacidad en la red de acceso por radio (RAN).

A medida que los operadores móviles amplían la capacidad de la red, instalan células adicionales dentro de la cobertura de una macrocélula, como se muestra en la figura 4-1. En un escenario de red heterogénea, esas células adicionales podrían ser una tecnología móvil diferente operada en

un espectro diferente o podría ser de baja potencia, llamada “Célula pequeña” utilizando la misma tecnología móvil que opera en el mismo espectro que la Macro Cell. En el caso de este último, el manejo eficiente de los recursos radioeléctricos debe evitar interferencias que comprometan la capacidad de instalación de estaciones bases adicionales. LTE está diseñado para manejar la interferencia de las células vecinas e introduce diferentes tecnologías para evitar, mitigar o beneficiar de manera constructiva la interferencia, esto se ve en la Figura 4-1.

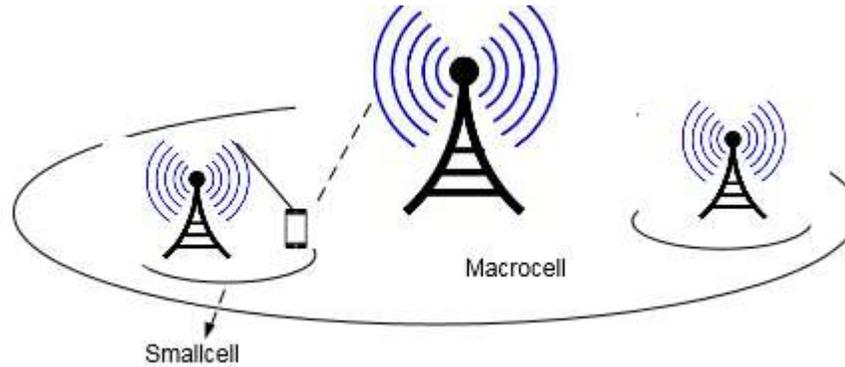


Figura 2-1 Aumento de la capacidad de acceso de radio (Fuente: Elaboración propia).

2.2.2 Cancelación de interferencia con Eicic (Mejora de la coordinación interferencial intercelular).

Otro de los métodos es eICIC el cual se introdujo con LTE y se basa en la optimización de los niveles de potencia de transmisión a través de las células vecinas de mínima interferencia, reduciendo la potencia de los usuarios cerca de los lugares de la antena permitiendo la reutilización de este espectro. Con eICIC (ver Figura 4-2), las “Almost blank subframes” o ABS de la estructura de la macro célula, que se utilizan para propósitos de señalización de baja potencia, son reutilizadas por estaciones base de radio de baja potencia que operan dentro del área de cobertura de la macro célula. Todos los sitios requieren información común de tiempo y fase para sincronizar su secuencia de tramas para un acceso coordinado a los intervalos de tiempo comúnmente utilizados. Por lo tanto, la disponibilidad de información de fase y tiempo altamente precisa es un requisito previo crítico para aplicar esta función avanzada.

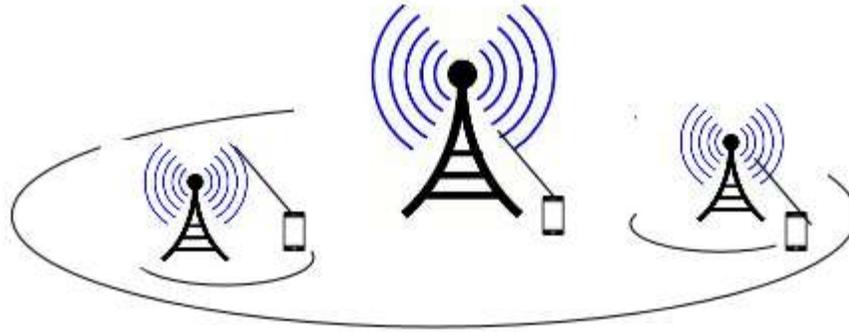


Figura 2-2 Cancelación de interferencias con eICIC (Fuente: Elación propia).

2.2.3 Prevención de interferencias con CoMP (Transmisión multipunto coordinada)

Existen otros medios para evitar la interferencia implementando tecnologías de diversidad de tiempo y espacio o sincronizando la señal proporcionada desde varias estaciones base.

Las tecnologías de formación de haz se basan en esquemas MIMO, que segmentan espacialmente una celda y permiten que los terminales de usuario operen en el mismo espectro. La figura 4-3 representa la reutilización espectral en celdas solapadas mediante haces de dirección a varios terminales. Dicha formación de haz también puede conseguirse combinando la señal de radio de antenas en sitios diferentes. Los sitios involucrados necesitan coordinar su señal de radiofrecuencia de una manera muy precisa, lo que requiere sincronización de fase y conectividad de alta capacidad con baja latencia, en la figura 4-3 se puede ver un ejemplo de esto.

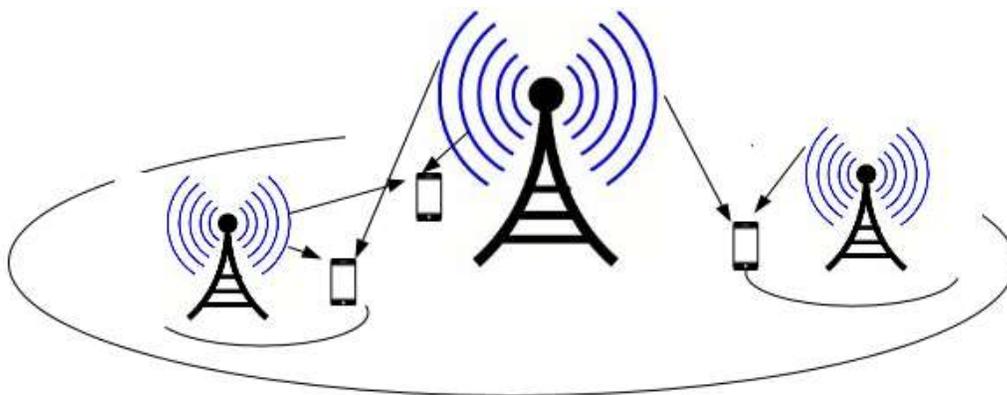


Figura 2-3 Prevención de interferencias con CoMP (Fuente: Elaboración propis)

Por lo tanto, las tecnologías LTE-A ponen algunos requisitos adicionales en la red backhaul. Para la mayoría de las funciones de LTE-A se requiere una sincronización de tiempo y fase estricta con una precisión del orden de 1µs. La mayoría de los requisitos se pueden cumplir mediante la

implementación de sincronización de tiempo de alta calidad y, además, la comunicación entre células utilizando interfaces respectivas de la arquitectura LTE.

2.3 Impacto en la arquitectura de Backhaul móvil.

Las tecnologías descritas anteriormente permiten una mayor eficiencia espectral dentro de los sectores que se superponen. La gestión de la interferencia requerida necesita una coordinación estricta del acceso al espectro radioeléctrico en las células vecinas. Por lo tanto, se requiere una estrecha cooperación entre las estaciones base.

La interfaz X2 definida con la arquitectura de red LTE puede utilizarse para dicha coordinación intercelular. Con las actuales redes de Backhaul móviles, esta interfaz se conecta a menudo a través del enrutador de frontera de servicios, que enlaza las diferentes estaciones base de radio con su controlador de servicio respectivamente como se muestra en la figura 4-4 . Cada radio debe ser suministrada con información de tiempo / fase altamente precisa con una precisión del orden de 1µs. Los servicios basados en localización exigen una tolerancia aún más baja de unos 100ns, ya que las diferencias de fase entre varias señales de radio se utilizan para calcular la ubicación del equipo de usuario, en la figura 4-4 se puede ver este ejemplo..

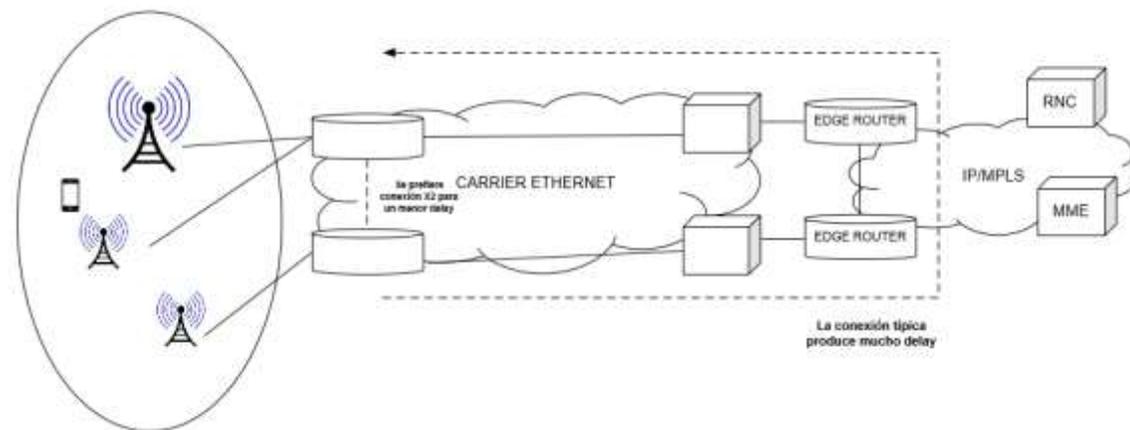


Figura 2-4 Impacto en la arquitectura de Backhaul móvil (Fuente: Elaboración propia).

2.4 Sincronización de tiempo y fase en redes móviles de Backhaul.

La mayoría de las redes de Backhaul móviles actuales son capaces de distribuir información para la sincronización de frecuencias utilizando SyncE o una tecnología que proporcione frecuencia basada en empaquetado como lo es IEEE1588v2. Sin embargo, esas implementaciones no son capaces de proporcionar una sincronización exacta de tiempo y fase. Hay varias estrategias de cómo las redes pueden hacerse capaces de distribuir información de fase de manera precisa. Los receptores GPS se pueden ubicar con Radio estaciones base, pero tienen un alto costo y no son adecuados para algunas ubicaciones. Alternativamente, la red Backhaul se puede actualizar con una mejor sincronización, que requiere PTP sobre Ethernet en combinación con el

procesamiento de marcas de tiempo dentro de cualquier nodo de red mediante un Boundary Clock. En muchos casos, tales actualizaciones resultan en una reconstrucción de la red completa.

A medida que los Operadores de Red Móvil preparan su infraestructura para redes LTE emergentes, se analizan diferentes estrategias sobre cómo la red Backhaul puede proporcionar las funciones requeridas. Las soluciones favorables permitirán la migración en lugar de reconstruir la red existente. Un enfoque comercial así como un enfoque técnico muy atractivo para satisfacer los requisitos de Backhaul se basa en volver a dividir la red de acceso de radio mediante la agrupación de algunas funciones en un sitio central y minimizar el equipo que debe montarse en el sitio de la antena.

Realizar la coordinación de la interferencia y la asignación del espectro en un emplazamiento central por una unidad de reloj y tiempo común elimina la necesidad de distribuir con exactitud información de sincronización a cada sitio de antena y facilita los requisitos de comunicación en tiempo real entre los sitios controlados. El procesamiento centralizado también aumenta la eficacia a medida que se reduce el consumo total de energía, más aun, los costos de instalación y mantenimiento disminuirán, ya que una proporción de equipos está instalado en un ambiente controlado.

2.5 Procesamiento centralizado de banda base y red Fronthaul.

Una estación base de radio puede separarse funcionalmente en:

Tabla 2-1 Unidades componentes fronthaul

-
- | | |
|---|---|
| 1 | Una unidad de banda base (BBU, a veces también denominada unidad digital DU) que genera y procesa una banda base digitalizada (RF). |
| 2 | Una unidad de radio remota (RRU), una unidad Remote Radio Head (RRH) |
-

Con las estaciones base actuales, ambas unidades están integradas en un solo elemento. La figura 4-6 muestra un escenario con células superpuestas en las que la comunicación entre celdas se maneja a través de la interfaz X2 como se ve en figura 4-6.

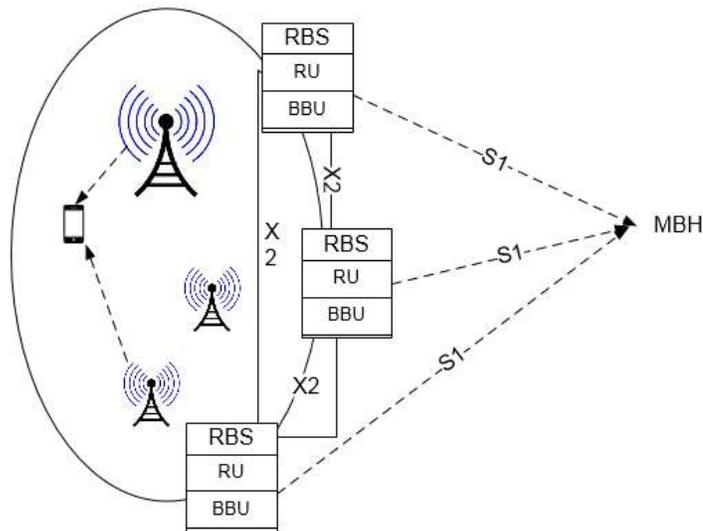


Figura 2-5 Comunicación intercelular por X2 (Fuente: Elaboración propia)

La figura 4-6 muestra cómo se impacta la arquitectura introduciendo una estación base dividida. La unidad de radiofrecuencia activa, que se denomina Remote Radio Head (RRH) conectados a las unidades digitales agrupadas por medio de una interfaz CPRI. Esta interfaz fue especificada por una cooperación de la industria con la participación de Ericsson AB, Huawei Technologies Co. Ltd., NEC Corporation, Alcatel Lucent y Nokia Siemens Networks GmbH & Co. KG. Transporta la señal de radiofrecuencia digitalizada así como datos de gestión y control. La red de transmisión que conecta a RRH con BBU se denomina red fronthaul.

Las cabezas de radio remota (RRH) de forma reducida simplifican la instalación y reducen el consumo de energía del equipo activo en el sitio de la antena. A medida que se genera la característica de la señal de RF en las unidades de banda de base, se consigue una estrecha coordinación de las señales de radio. Además de las ventajas de costes, la mejora de la gestión de la interferencia se traduce en una mayor utilización celular, así como una mejor calidad de servicio. Las redes de fronteras ópticas forman la base para el siguiente paso de la innovación hacia redes de acceso de radio definidas por software, que pueden ser actualizadas de una tecnología de radio a otra simplemente por comando de gestión. Como la interfaz CPRI no depende de la tecnología de radio, una actualización de 3G a LTE o LTE-A sólo aumenta la velocidad de transmisión de datos en la red de transmisión frontaul. La transmisión transparente de velocidad de bits permite una actualización de red sin ningún impacto en la red de transmisión. Lo anteriormente descrito se puede ver en la figura 4-6

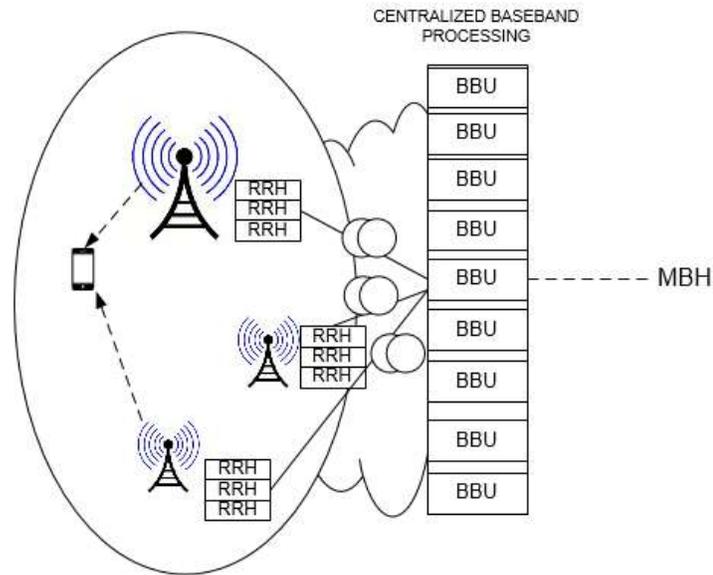


Figura 2-6 Introducción de estación base dividida (Fuente: Elaboración propia).

En la mayoría de los casos, la transmisión entre BBUs y los Remote Radio Heads se llevará a cabo con sistemas de fibra, ya que es necesario transportar velocidades de datos de varios Gbits y distancias de hasta 40 km deben ser conectadas con baja latencia y baja fluctuación en el rango de 10ns. Los sistemas de transmisión de cobre y microondas pueden ser una alternativa, sin embargo, ambas tecnologías vienen con algunas limitaciones que hacen que una aplicación más amplia muy improbable.

El costo de la capacidad de escala es significativamente menos favorable con la transmisión por microondas, lo que hace que las soluciones basadas en fibras sean ideales. El cobre también es una opción teórica, sin embargo, requiere técnicas de vectorización y adhesión altamente sofisticadas para lograr las tasas de datos requeridas. Las limitaciones de distancia reducirán aún más la relevancia de esta tecnología.

Aunque las interfaces CPRI pueden conectarse mediante también por fibra dedicada, CWDM / DWDM mejorará la utilización de la fibra. A medida que se utilizan menos fibras, El costo del aprovisionamiento de la fibra es menor. La tecnología DWDM activa puede monitorear la red de transmisión para un aislamiento de fallas rápido y eficiente.

3 Introducción a la sincronización en redes móviles.

3.1 Definición de sincronización.

La sincronización en una red conlleva sincronizar ya sea en frecuencia o tiempo, distintos nodos de la red para que la información transferida entre ellos no sea enviada con latencia y puedan comunicarse correctamente. Un caso general es el que se presenta en la figura 2-1.



Figura 3-1 Sincronización en general. (Fuente: Elaboración propia)

3.2 Sincronización en frecuencia.

A este tipo de sincronización también se le conoce como sincronización de reloj, el objetivo es mantener las frecuencias o fases de las señales de reloj de manera coherente, para asegurarse de que todos los dispositivos funcionan al mismo instante. Si las frecuencias de reloj de dos dispositivos son diferentes, o bien los flujos de bits en la transmisión entre los dos dispositivos es diferente se añadirá variación o fluctuación debido a la interferencia o daño durante la transmisión, haciendo que estos bits puedan perderse o duplicarse, lo que da como resultado un desplazamiento en el flujo de bits, este ejemplo puede verse en la figura 2-2.

3.3 Sincronización en tiempo.

En este tipo de sincronización se trata de ajustar el reloj interno del dispositivo local de acuerdo con la información recibida. Ambas, sincronizaciones en tiempo y en frecuencia siguen principios similares para su funcionamiento, es decir tanto la frecuencia como la fase se ajustan. Una

diferencia de la sincronización en frecuencia, es que la sincronización en tiempo se hace de manera discontinua, ósea, se ajusta cada cierto tiempo de acuerdo con la información que va recibiendo, queriendo decir que lo hace de manera periódica. Sincronización en tiempo implica dos funciones principales:

3.3.1 Tiempo de servicio (Service Time).

El tiempo de servicio es para ajustar el reloj según una hora estándar. Al ajustar el reloj a intervalos irregulares, un dispositivo sincroniza su fase con el tiempo de referencia estándar o de referencia.

3.3.2 Tiempo de mantenimiento.

Tiempo de mantenimiento hace referencia a sincronización en frecuencia, se asegura que la diferencia del tiempo (clock) del dispositivo local con respecto al otro dispositivo se mantenga en rangos razonables, mientras se produce el ajuste del reloj.

En las figuras a continuación, se refleja un diagrama donde se muestran las diferencias entre los dos tipos de sincronización:

- En figura 2-1 se muestra la sincronización en frecuencia se puede apreciar que el retraso que lleva es constante, y no varía como se aprecia en los distintos relojes allí mostrados.
- En cambio en figura 2-2 se muestra la sincronización en fase se aprecia que ambos relojes están sincronizados exactamente con la misma fase.

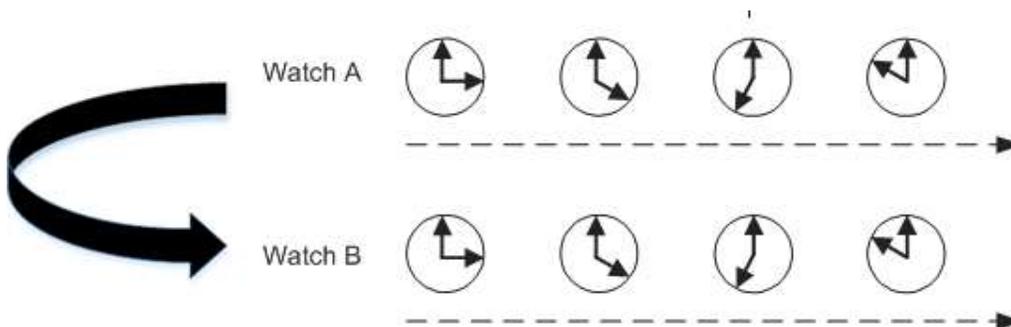


Figura 3-2 Frecuencia (Elaboración propia).

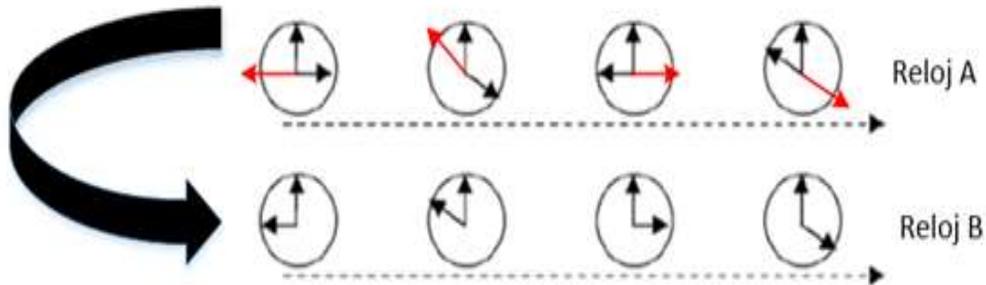


Figura 3-3 Fase (Elaboración propia).

3.4 ¿Sincronización en el backhaul?

Los dispositivos móviles derivan su frecuencia de la interfaz aire de las radio estaciones y operan a esas frecuencias. En una RAN, las radio estaciones deben estar sincronizadas a la misma frecuencia con una precisión de 50 ppm. Los requerimientos de los diferentes estándares para la sincronización en fase y frecuencia se presentan en la tabla 2-1 que se presenta a continuación.

Tabla 3-1 Requerimientos de sincronización.

STANDARD MÓVIL	FRECUENCIA STANDARD	PRECISIÓN EN FASE
GSM	50 PPB	No es requerida
CDMA2000	50 PPB	3 uS
WCDMA	50 PPB	No es requerida
TD-SCDMA	50 PPB	3 uS
LTE	50 PPB	3 uS

Típicamente un nodo que reside en la frontera o borde del Core de la red móvil deriva su sincronización desde un PRS (Primary reference clock) que actúa como el reloj Maestro.

- En un Backhaul TDM, todas las radios bases están sincronizadas al reloj Maestro a través de un conjunto de circuitos TDM como lo son T1, SONET, SDH entre otros, los cuales son los responsables de distribuir la referencia a través de líneas físicas.

- En un Backhaul Ethernet como no existen circuitos TDM, la sincronización debe ser distribuida de alguna forma dentro de esta red, aquí es donde entran las nuevas tecnologías a realizar esta funcionalidad.

3.4.1 Sincronización de nodos en un backhaul Ethernet

Existen cuatro métodos o tecnologías de gran importancia para entregar sincronización en redes Ethernet como se hacía en una red TDM, los cuales serán analizados con más profundidad en el Capítulo 3 de este trabajo, a continuación una visión general de estas tecnologías.

- Network time protocol.

NTP sincroniza los relojes de los host y routers en internet, con una gran cantidad de servidores y clientes desplegados sobre internet alrededor del mundo, este mecanismo ofrece precisión en el orden de los milisegundos en redes WAN, submilisegundos en las redes LAN, aunque puede alcanzar el rango de submicrosegundos utilizando una fuente de precisión como lo puede ser un GPS. En el Apéndice A se puede ver un ejemplo de simulación del protocolo NTP.

- Global position system GPS,

Obteniendo la sincronización mediante GPS se asegura sincronización en tiempo fase y frecuencia. En zonas urbanas se podría perder la línea con el satélite, más aun con la adopción de LTE que incrementa el número de células incrementando el número de unidades (GPSs) que instalar lo cual sería un costo más alto y no escalable. Aquí todas las radio estaciones deben estar equipadas con GPS receivers.

- Adaptive clock recovery ACR.

La referencia es recuperada entre los intervalos de llegada de paquetes o tomando como consideración el nivel de llenado del buffer, el reloj interno se ajusta midiendo si el buffer aumenta o disminuye, no se darán mayores detalles acerca de este método.

- IEEE 1588v2 PTP.

También conocido como PTP, usa paquetes transmitidos múltiple veces por segundo para mantener el sincronismo entre relojes maestro y esclavo. PTP también asegura corrección automática en el caso de producirse delays entre el maestro y esclavo.

4 Principales tecnologías asociadas.

4.1 Introducción.

En este capítulo se amplía el conocimiento con respecto a las tecnologías asociadas al sincronismo dentro de un Backhaul IP, como también los algoritmos que son utilizados por cada una de estas tecnologías.

4.2 Network Time Protocol (NTP).

4.2.1 Introducción.

El estándar de escala de tiempo usado por muchos países es el UTC, que está basado en la rotación de la tierra alrededor de su eje, y el calendario Gregoriano, que está basado en la rotación de la tierra alrededor del sol. La escala de tiempo UTC está en concordancia al TAI insertando saltos de segundos en intervalos de 18 meses aproximadamente. La hora UTC esta divulgada de diferentes maneras, incluyendo sistemas de navegación por radio y satélite, módems, relojes portátiles, etc.

El propósito de estos receptores es estar disponible para muchos de los servicios de divulgación incluyendo el Global Position System (GPS) y otros servicios utilizados por los gobiernos de los países. Por razones de costo y conveniencia, no es posible equipar cada computador con uno de estos receptores. Sin embargo, es posible equipar un número de computadores actuando como servidores primarios para sincronizar a la mayoría de servidores secundarios y clientes conectados por una red común. Para hacer esto, es necesario un protocolo de red de sincronización de tiempo, que pueda leer un servidor de hora, transmita la lectura a uno o más clientes y ajuste el reloj de cada cliente como sea necesario. Se pueden encontrar varios protocolos que hagan esto entre ellos el NTP (Network Time Protocol) y el DTSS, pero el tema central es NTP.

Por tanto se puede decir que el NTP sirve para sincronizar relojes de hosts y routers en Internet. Este protocolo se estableció en los años 80 y era para Unix, después salió uno similar SNTP (Short Network Time Protocol) para Windows, cuyo objetivo era poder sincronizar los relojes de 2 computadores. La arquitectura, protocolo y algoritmos de NTP han ido evolucionando durante los últimos 20 años hasta llegar a la última versión NTP4 que es la utilizada actualmente. En las primeras versiones de NTP se podía establecer una precisión de milisegundos, pero actualmente los PC, módems, redes, estaciones de trabajo, son más rápidas por lo que es necesaria una mayor

precisión. Por ello en la última versión de NTP se proporcionan precisiones de décimas de milisegundos en WANS, milisegundos en LANS y microsegundos usando como fuente de precisión de tiempo un oscilador de cesio o un receptor GPS, las configuraciones NTP típicas utilizan múltiples servidores redundantes y diversos caminos de red, con tal de obtener la máxima precisión y fiabilidad. Algunas configuraciones incluyen autenticación criptográfica para prevenir ataques accidentales o maliciosos del protocolo. El protocolo de sincronización determina la diferencia entre la hora del reloj del servidor en relación a la hora del cliente. Bajo petición, el servidor envía un mensaje incluyendo el valor de la hora en ese momento, y el cliente almacena esto en sus marcas de tiempo. Para mayor precisión, el cliente necesita medir el retraso de la propagación desde el servidor al cliente para determinar su offset relativo al servidor. Pero como no es posible determinar el retraso de un camino, a menos que el offset actual sea conocido, el protocolo mide el retraso total en dar toda la vuelta y asume que los tiempos de propagación son estáticamente iguales en cualquier dirección. En general esto es una aproximación útil, sin embargo en Internet hoy en día, las rutas en la red y los retrasos asociados pueden diferir significativamente debido al servicio individual de los proveedores.

4.2.2 Configuraciones de NTP.

El protocolo NTP puede trabajar en uno o más modos de trabajo, uno de ellos es el modo cliente/servidor, también llamado maestro/esclavo. En este modo, un cliente se sincroniza con un servidor. NTP también soporta un modo simétrico, el cual permite a cada uno de los dos servidores sincronizarse con otro, para proporcionarse copias de seguridad mutuamente, también soporta el modo broadcast por el cual muchos clientes pueden sincronizarse con uno o varios servidores, reduciendo el tráfico en la red cuando están involucrados un gran número de clientes, dentro de esta tecnología el Multicast IP también puede ser usado cuando la subred se abarca múltiples redes de trabajo.

La configuración puede ser un serio problema en grandes subredes. Varios esquemas están en bases de datos públicas y servicios de directorios en red que son usados para descubrir servidores. NTP usa el modo broadcast para soportar grandes cantidades de clientes pero para los clientes que solo escuchan es difícil calibrar el retraso y la precisión que pueden sufrir. En NTP, los clientes determinan el retraso a la vez que buscan un servidor en modo cliente/servidor y luego cambian a modo solo escucha. Además, los clientes NTP pueden hacer un broadcast de un mensaje especial para solicitar respuestas de servidores cercanos y continuar en modo cliente/servidor con los que le respondan.

4.2.3 Aproximación a la arquitectura NTP.

Network Time Protocol es un protocolo jerárquico y se divide en estrato que define la distancia desde el reloj de referencia. Una fuente de reloj de referencia que transmite el tiempo UTC y tiene poco o ningún retraso se conoce como dispositivo Stratum-0. Los servidores Stratum-0 no se pueden utilizar en la red, sino que están conectados directamente a equipos que funcionan como servidores de hora primarios. Un servidor primario que recibe una señal de tiempo de un dispositivo estrato 0 ya sea a través de la red GPS o la transmisión nacional de tiempo y frecuencia se conoce como dispositivo stratum-1. En una red, un servidor de tiempo estrato 1 suministra el tiempo a otros dispositivos de la red que se conocen como dispositivos Stratum 2. Éstos también

se pueden utilizar como fuente del tiempo y el equipo que se conecta con un estrato 2 para recibir sincronización se convierte en estrato-3 y así sucesivamente.

NTP puede manejar hasta 16 niveles de estrato diferentes. Sin embargo, para que el sistema sea más fiable, cada cliente puede recibir una fuente de tiempo de varios servidores. Los dispositivos Stratum 2 y posteriores también pueden sincronizarse entre sí. El software NTP monitorea continuamente las cifras de estabilidad y exactitud de todos los servidores y siempre elige un servidor con las mejores cifras. A modo de ejemplo en la figura 3-1 se presenta una jerarquía de estratos.

El estrato múltiple se utiliza en redes más grandes porque consultar masivamente un solo servidor de tiempo de Stratum 1 con las peticiones de NTP de millares de máquinas podría causar que se sobrecargue o bloquee la red en sí misma con las estaciones de trabajo repetidamente esperando sus peticiones de la sincronización de tiempo. En la imagen a continuación se presenta este orden en Stratum que posee el protocolo NTP con la finalidad de tener una mejor comprensión.

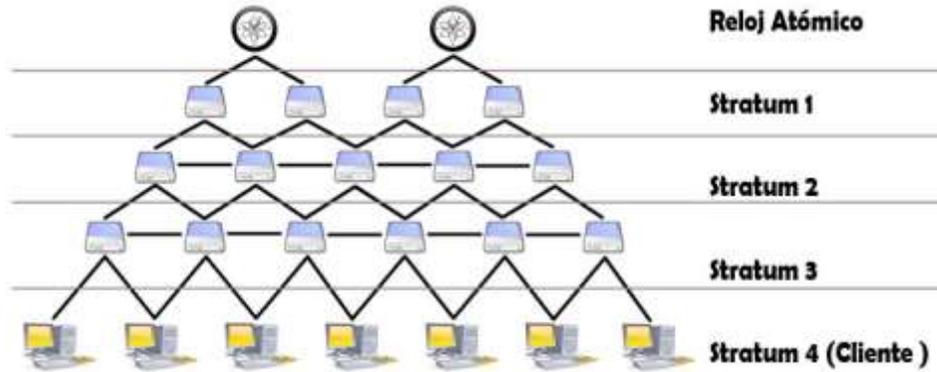


Figura 4-1 Distribución en nivel de Stratum.

4.2.4 Características del paquete enviado en NTP.

A continuación (figura 3-2) se muestra el paquete que es enviado cuando se usa el protocolo NTPv4, algunos de los campos son descritos más abajo.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
LI		VN			MODE			STRATUM								POOL								PRECISION							
ROOT DELAY																															
ROOT DISPERSION																															
REFERENCE IDENTIFIER																															
REFERENCE TIMESTAMP																															
ORIGINATE TIMESTAMP																															
RECEIVE TIMESTAMP																															
TRANSMIT TIMESTAMP																															
KEY IDENTIFIER																															
MESSAGE DIGEST																															

Figura 4-2 Paquete enviado en NTP (Fuente: Cisco Internet protocol journal)

El primer campo “LI” como se puede ver en la imagen anterior, es de un largo de 2 bits, este sirve para indicar que al último minuto de cada día se le agregara o quitaran un segundo. Luego viene “VN” el cual corresponde a un entero de 3 bits que indica la versión, la versión 3 corresponde solo a Ipv4 y la versión 4 para Ipv4, Ipv6. También esta MODE, en donde se define de qué modo está trabajando, el cual puede tomar cualquiera de los valores que salen en la tabla 3-1 a continuación.

Tabla 4-1 Valores que puede tomar el campo MODE (Fuente: Cisco Internet protocol journal)

Modo	Significado.
0	Reservado.
1	Simétrico Activo
2	Simétrico Pasivo
3	Cliente
4	Servidor
5	Broadcast
6	Reservado (Mensajes de control).
7	Reservado (Uso privado).

Luego se presenta el campo STRATUM, el cual es un entero de 8 bits que indica el nivel del servidor local. Por ultimo esta POOL el cual también es un entero de 8 bits con signo que indica

el intervalo máximo de tiempo entre dos mensajes sucesivos, expresado en segundo y como potencia de 2 más cercana, normalmente las aplicaciones usan un rango que va de 2 elevado a 6 o 10 (64 y 1024 respectivamente).

4.2.5 Modelos de funcionamiento NTP.

Bajo circunstancias normales se necesita seleccionar de manera apropiada el modelo de funcionamiento que se desea aplicar en la red a desplegar, cuando se habla de NTP los modos de operación en los cuales se clasifica son los que se nombran a continuación:

- Modo cliente / servidor.
- Modo Peer.
- Modo Broadcast.
- Modo Multicast.

Antes de comenzar la explicación de cada uno de ellos es conveniente tomar en cuenta la imagen en el que se ven las diferencias en la forma de transmisión de los paquetes en orden con el destino que llevan, como se ve en la Figura 3-2.

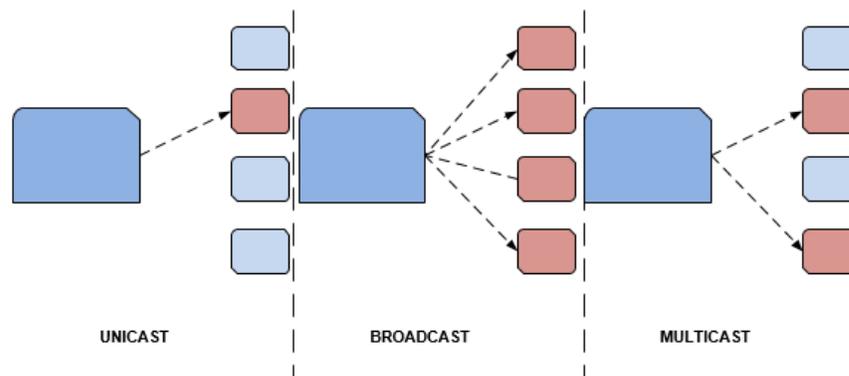


Figura 4-3 Formas de distribución (Fuente: Elaboración propia)

- Modo cliente / servidor.

El funcionamiento de este modo se basa en que el dispositivo cliente envía paquetes al servidor de manera periódica, el valor que toma el campo de MF es de 3, lo cual indica que lo envía un cliente, a este no le importa si el servidor es alcanzable y en cual Stratum se encuentra, debido a que NTP se utiliza la jerarquía de Stratum. Visto desde el punto de vista del servidor, éste envía paquetes de respuesta, tomando en consideración que en el campo de MF se pone un valor de 4 para identificar que ese paquete lo envía un servidor y no un cliente, si fuera así el caso el MF toma un valor de 3.

El cliente envía periódicamente mensajes de petición al nodo que envía mensajes en donde el modefield está configurado en 4, luego de que el servidor recibe uno de estos mensajes de requerimiento el servidor cambia la IP destino y la IP fuente, como también los puertos, y es el

cliente el que se debe acomodar a las condiciones impuestas por la red. El funcionamiento anterior se ve reflejado en la figura 3-3.

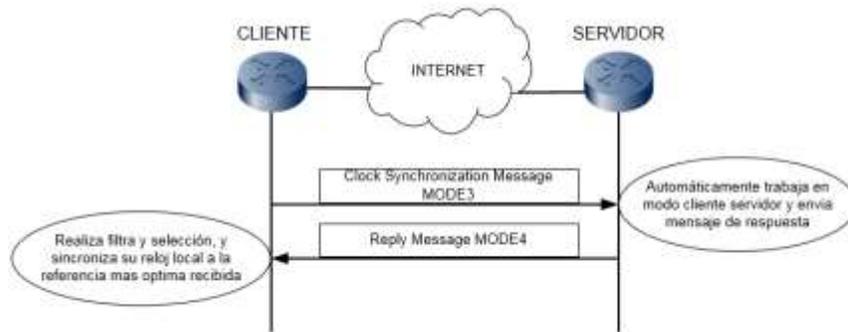


Figura 4-4 Modo cliente / servidor (Fuente: Elaboración propia).

- Modo peer.

En este modo, el peer activo y el pasivo pueden ser sincronizados uno con otro, para ser más claros, el peer de nivel más bajo con el peer de nivel más alto. Lo primero que se lleva a cabo es el intercambio de mensajes NTP con modefield 3 o 4.

Peer Activo:

Un cliente que funciona como un peer activo envía mensajes periódicamente, el modefield cambia al valor de 1, esto quiere decir que el paquete como se dijo anteriormente lo envía un peer activo, sin considerar donde éste se encuentre y en que Stratum se encuentre. Un peer de estas características es capaz de brindar información acerca de su reloj local, o sincronizar la información de reloj conforme a su reloj local, o sincronizar la información de reloj conforme a su reloj local o bien al reloj del peer.

Peer Pasivo:

En este caso, se reciben los mensajes del peer activo enviando paquetes de respuesta, el valor de un modefield en un paquete de respuesta es de un valor de 2, lo cual indica que el paquete salió de un peer pasivo, el peer pasivo es capaz de proveer información de sincronización del reloj local, o sincronizar su reloj con el de un peer.

Para que un cliente pueda actuar como peer pasivo los paquetes recibidos por el cliente local son enviados como de peer activo (figura 3-4), el nivel de Stratum que posea debe ser menor o igual al Stratum que posee el cliente local, en otras palabras las rutas entre el host local y un peer activo debe ser rastreable.

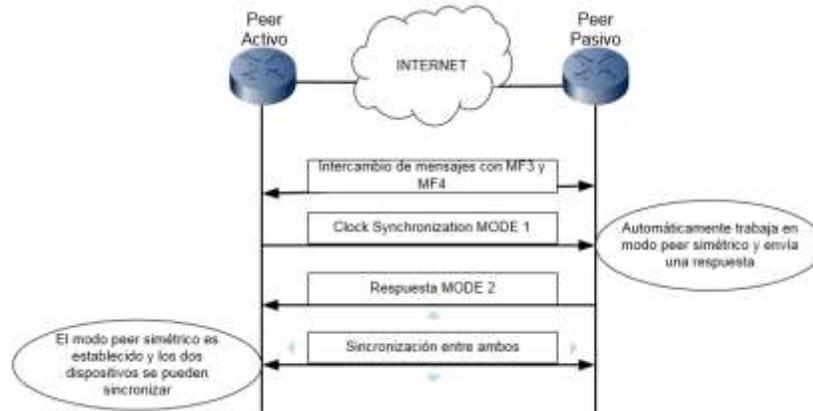


Figura 4-5 Modo peer (Fuente: Elaboración propia).

- Modo Broadcast.

Un host que corre en un modo broadcast manda paquetes para la sincronización de reloj a la dirección 255.255.255.255 de manera aperiódica. El valor del modefield es de 5, lo cual indica que el paquete es enviado por un host que funciona en modo broadcast. Usualmente un servidor de sincronización es quien funciona en modo broadcast corriendo a una gran velocidad, en resumen envía paquetes pero no cambia su configuración ni se producen cambios en el envío de paquetes.

El cliente mientras tanto escucha los paquetes enviados mediante broadcast, cuando éste recibe el primer paquete broadcast, el cliente y el servidor intercambian paquetes NTP los cuales tienen un valor en el modefield 3 o 4 (ver figura 3-5) dependiendo si son del cliente o de quien envía el paquete, el cliente habilita la función de cliente/servidor por un periodo corto de tiempo para intercambiar información con el servidor remoto, esto permite al cliente obtener el delay entre conexión, luego el cliente regresa al modo broadcast y espera la llegada de los otros paquetes venideros para ajustar su reloj interno.

Normalmente este mecanismo es aplicado a redes de altas velocidades que poseen varias estaciones de trabajo y no requieren una precisión muy alta, en un despliegue típico uno o más servidores envían paquetes broadcast, el delay producido dentro de una LAN está en el orden de los milisegundos.

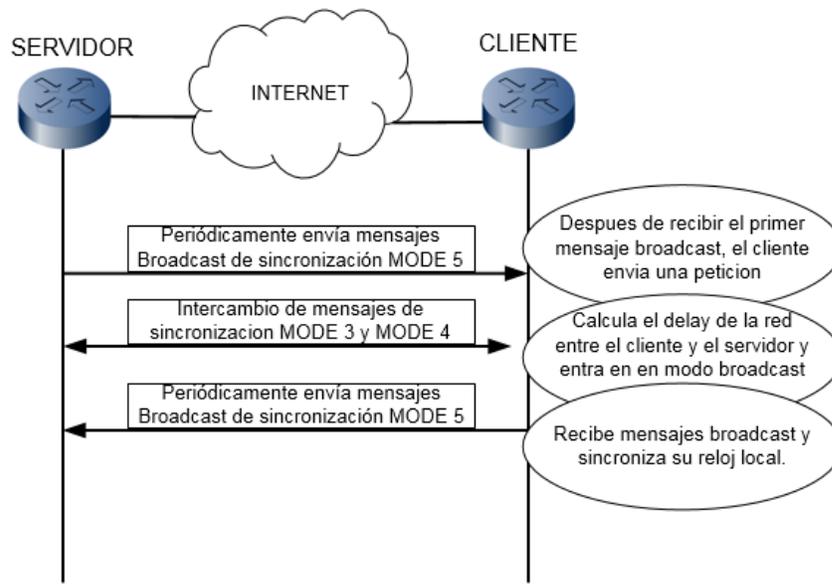


Figura 4-6 Modo broadcast (Fuente. Elaboración propia).

4.2.6 Ejemplo de funcionamiento.

Para lograr obtener una mejor comprensión de las tecnologías de sincronización basadas en paquetes es bueno mostrar un ejemplo de sincronización entre dos nodos de la red y mostrar cómo es que va cambiando la información que se maneja en los paquetes que entre ellos intercambian. El Desarrollo está enfocado al análisis de comunicación entre un router en un proceso de sincronización mediante protocolo NTP, y poder visualizar de qué manera se comporta la estructura del envío y recepción de un mensaje NTP.

- Arquitectura.

A continuación se presentan los detalles del funcionamiento del protocolo NTP, esto mediante una simulación en el software Cisco Packet Tracer. El protocolo NTP fue la base en la que parten los nuevos protocolos de sincronización basados en la transferencia de paquetes como lo es el caso de IEEE 1588v2.

La arquitectura que se utilizara será la que se muestra en la figura 3-6.

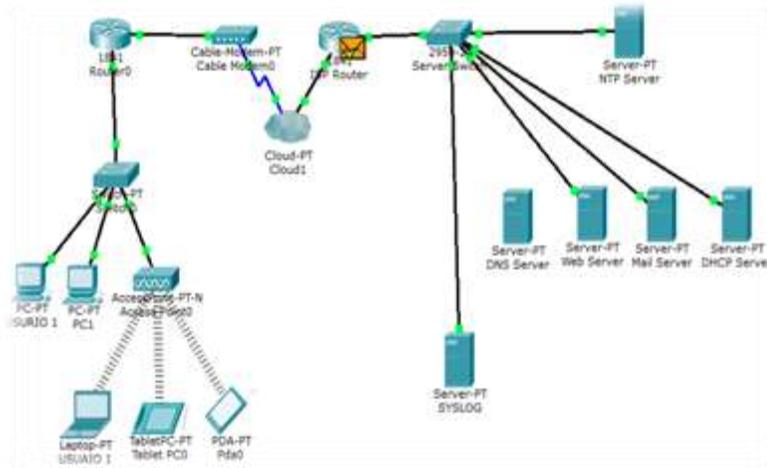


Figura 4-7 Arquitectura usada en simulación.

- Arquitectura.

Tomando en cuenta la arquitectura que se muestra en la figura 3-6, el proceso comienza con el envío de un mensaje por parte de Router 0 con las características que se ven en la figura 3-7, ya que en recepción se maneja el mensaje enviado por el nodo anterior. El mensaje enviado por Router0 es el siguiente:

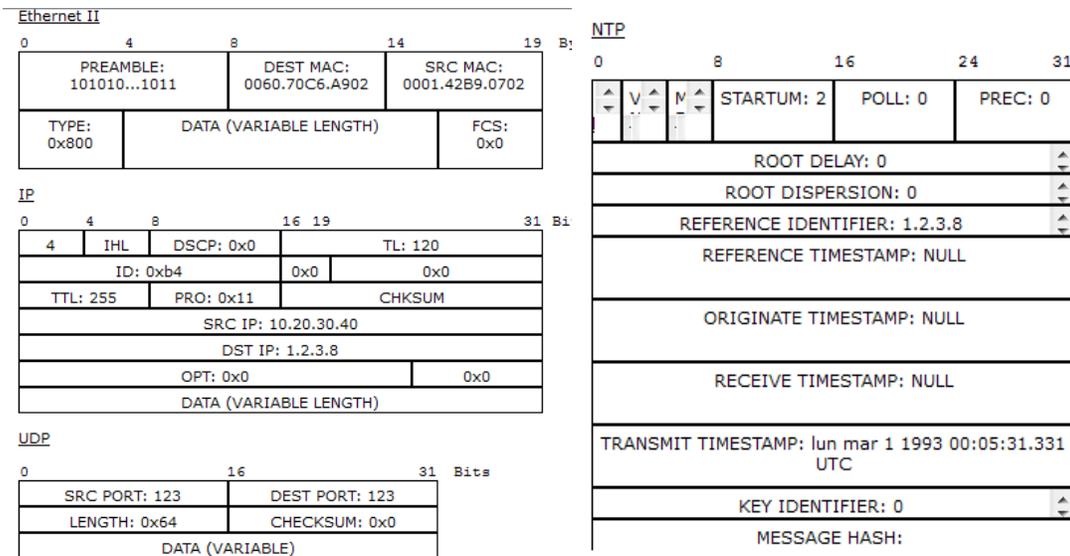


Figura 4-8 Mensaje enviado por Router0.

En donde los datos a recalcar son los siguientes:

- Ethernet

- IP
- NTP

En la parte Ethernet II, IP, y NTP se muestra lo siguiente:

ETHERNET II	Corresponde
MAC SOURCE :	SOURCE: FE0/0 ROUTERO
0001.42B9.0701 MAC	DESTINO: FE0/1 ISP
IP	Corresponde
IP SOURCE :	SOURCE: FE0/1
10.20.30.40 IP	ROUTERO DESTINO:
NTP	Detalle
STRATUM 2	No hay cambios, más bien
SE MARCA CON TRANSIST	origen. Se marca con el
TIME. REFERENCE	horario que por defecto
IDENTIFIER: SERVIDOR NTP.	trae el dispositivo que en
	este caso se ve 1993.

Figura 4-9 Datos importantes del mensaje de Router0.

Luego ese mensaje es el mismo que entra en Cable Modem, la estructura del mensaje de salida de este nodo es la siguiente.

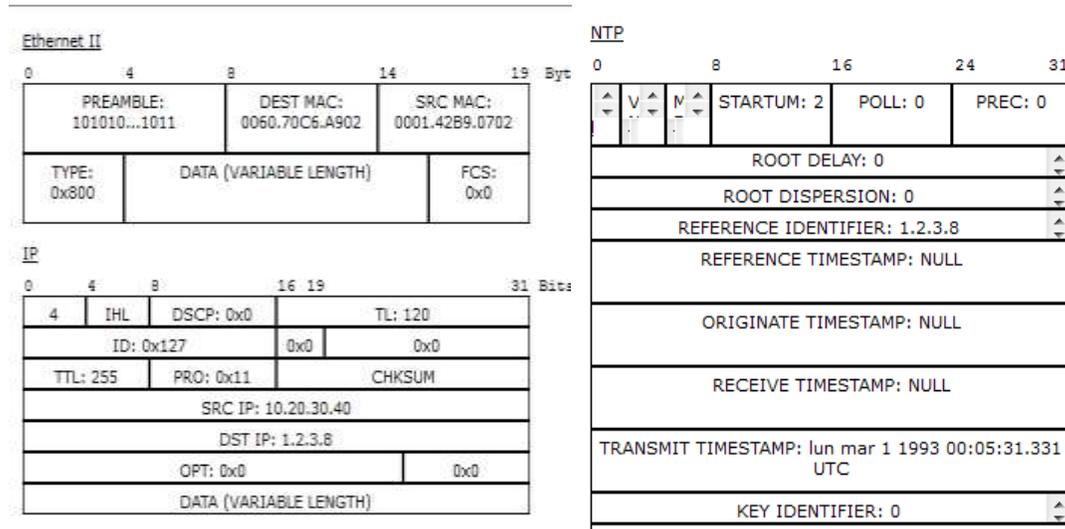


Figura 4-10 Mensaje enviado por Cable Modem.

En donde los datos principales se ven en la figura 3-10, con sus direcciones de origen como de destino.

ETHERNET II	Corresponde
MAC SOURCE : 0001.42B9.0702 MAC	SOURCE: FE0/1 ROUTERO DESTINO: FE0/1 ISP
IP	Corresponde
IP SOURCE : 10.20.30.40 IP	SOURCE: FE0/1 ROUTERO DESTINO: FE0 SERIDOR
NTP	Detalle
STRATUM 2 SE MARCA CON TRANSIST TIME. REFERENCE IDENTIFIER: SERVIDOR NTP.	El mensaje no sufre ningún cambio, ningún otro nodo lo marca hasta que llega a destino pero si cambian las direcciones

Figura 4-11 Datos importantes del mensaje de salida Cable Modem.

Como se mencionó anteriormente, ese es el mismo mensaje que entra en la nube. No se analizara su tránsito por medio de esta nube debido a que solo funciona como un túnel y no produce cambios dentro de la trama de NTP. La tabla del mensaje en cuestión se muestra en la figura 3.11

ETHERNET II	Corresponde
MAC SOURCE : 0060.70C6.A901 MAC	SOURCE: Puerto 0/0 router ISP DESTINO: Puerto fa0 de servidor NTP
IP	Corresponde
IP SOURCE : 10.20.30.40 IP	SOURCE: Fa0/1 ROUTERO DESTINO: Fa0 SERIDOR
NTP	Detalle
STRATUM 2 SE MARCA CON TRANSIST TIME. REFERENCE IDENTIFIER: SERVIDOR NTP.	No sufre cambios ya que esa marca de tiempo quedo como referencia.

Figura 4-12 Datos más importantes del mensaje.

El próximo nodo en donde se generan cambios en el mensaje enviado es en Server Switch. La estructura de este mensaje se muestra en la Figura 3-12

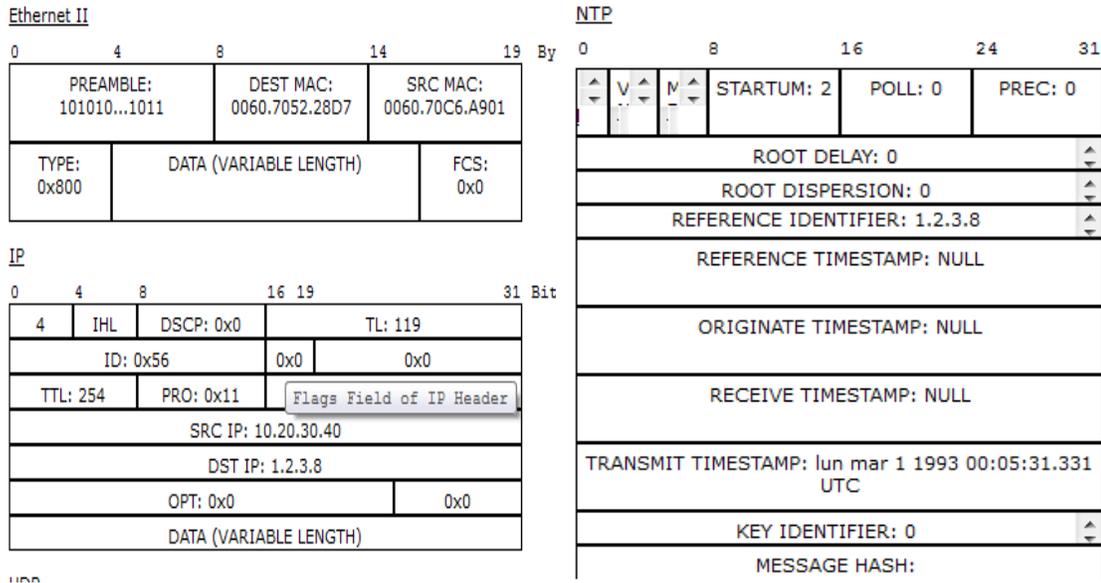


Figura 4-13 Mensaje enviado por Server Switch.

El correspondiente análisis de este mensaje se muestra a continuación:

ETHERNET II	Corresponde
MAC SOURCE :	SOURCE: FE0/0 ISP
0060.70C6.A901 MAC	ROUTER DESTINO:
IP	Corresponde
IP SOURCE :	SOURCE: FE0/1 ROUTERO
10.20.30.40 IP	DESTINO: FE0 SERIDOR
NTP	Detalle
STRATUM 2	No sufre cambios
SE MARCA CON TRANSIST	
TIME. REFERENCE	

Figura 4-14 Detalle del mensaje enviado por server switch

Ahora es el servidor quien envía un mensaje de información, este mensaje se muestra en la Figura 3-14.

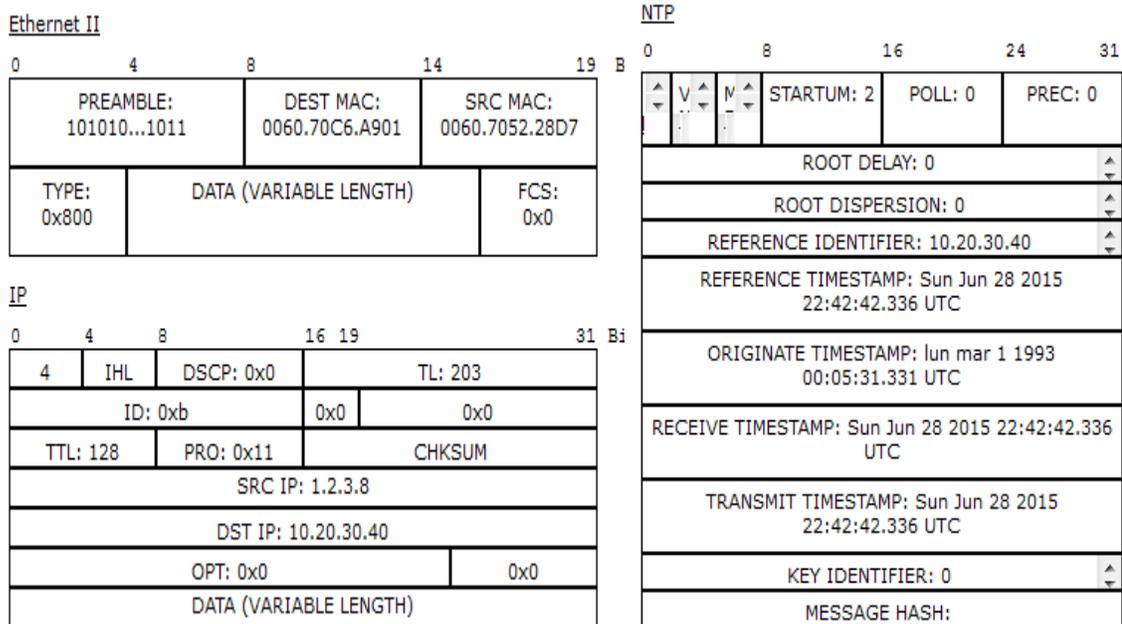


Figura 4-15 Mensaje enviado por el servidor

En donde la tabla de análisis del mensaje es la siguiente:

ETHERNET II	Corresponde
MAC SOURCE: 0060.7052.28D7	SOURCE: SERVIDOR
MAC DESTINO :	NTP DESTINO: fa0/0

IP	Corresponde
IP SOURCE : 1.2.3.8	SOURCE: fa0/0 Servidor
IP DESTINO : 10.20.30.40	NTP DESTINO: fa0/0

NTP	Detalle
STRATUM 2 SE MARCA CON TRANSIST TIME. REFERENCE IDENTIFIER: SERVIDOR NTP.	La marca cambia hay pasa al parámetro ORIGINATE y se rellenan los demás campos para ser transmitidos se marca la referencia como el reloj actual la hora a la que se recibe etc.

Figura 4-16 Análisis del mensaje enviado por servidor.

Ahora comienza el camino pero en sentido contrario, o sea el camino del mensaje de respuesta hacia Router0, desde donde se inició el proceso. Esto se puede ver en la figura 3-16.

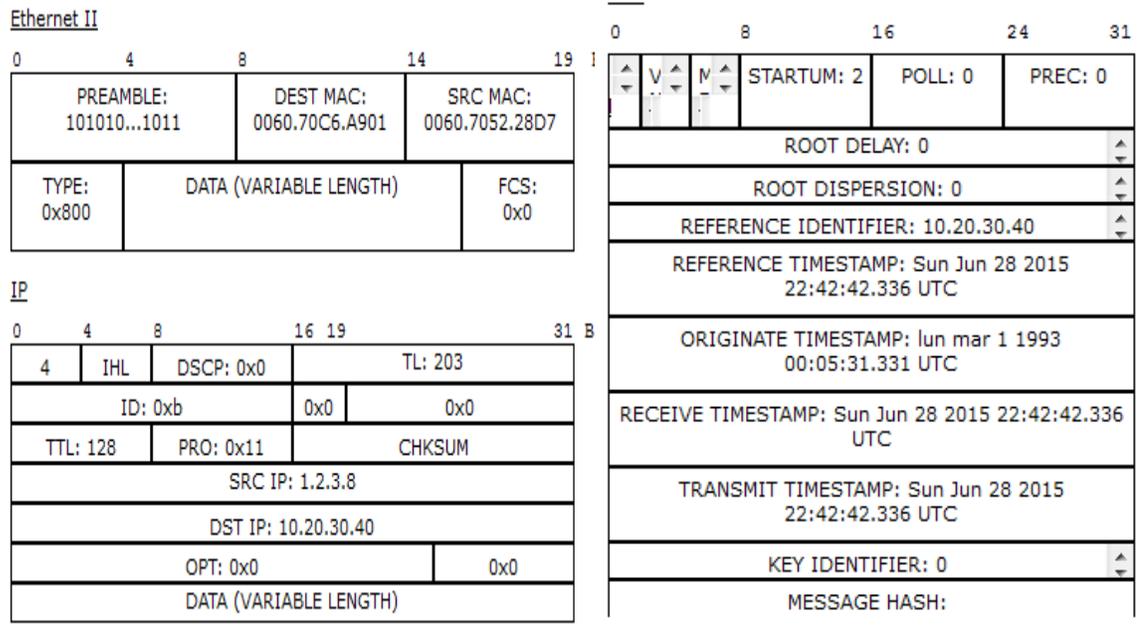


Figura 4-17 Mensaje de respuesta

El análisis del mensaje de respuesta es el siguiente:

ETHERNET II	Corresponde
MAC SOURCE : 0060.7052.28D7 MAC	SOURCE: Servidor NTP DESTINO:
IP	Corresponde
IP SOURCE : 1.2.3.8 IP DESTINO : 10.20.30.40	SOURCE: Servidor
NTP	Detalle
STRATUM 2 SE MARCA CON TRANSIST TIME. REFERENCE IDENTIFIER: SERVIDOR NTP.	Se vuelven a marcar los campos cabe destacar que el reference identifier es el router 0 que en

Figura 4-18 Mensaje enviado por el servidor

Luego el mensaje que sale del router ISP se muestra en la figura 3-18..

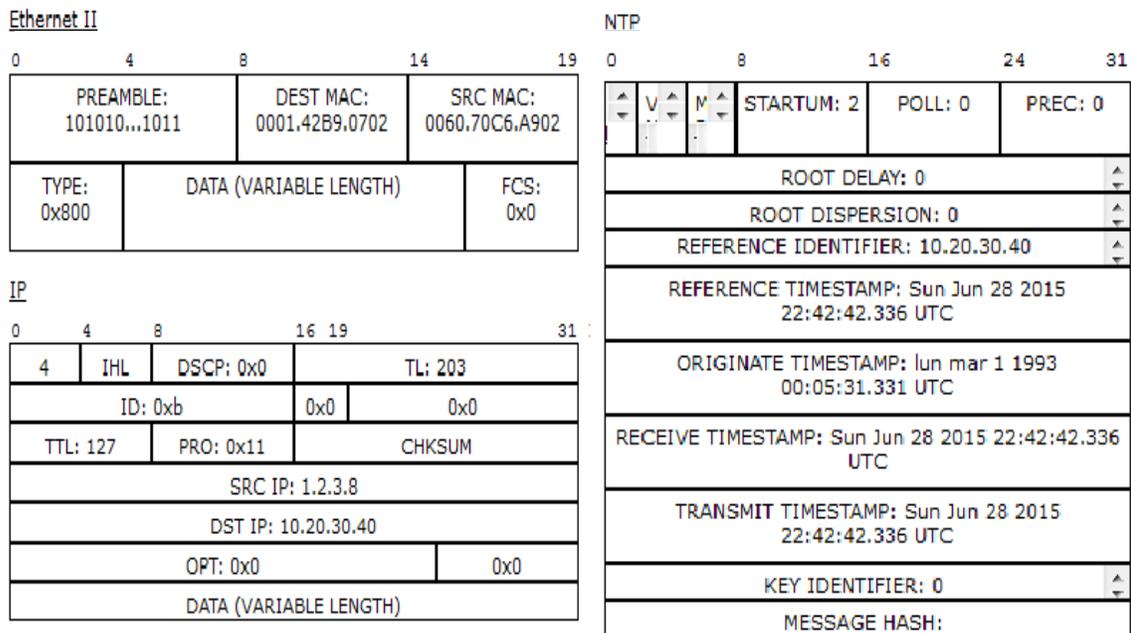


Figura 4-19 Mensaje que sale de Router ISP

Después de que el mensaje pasa por un túnel llega a cable modem con la información que se ve en la figura 3-19.

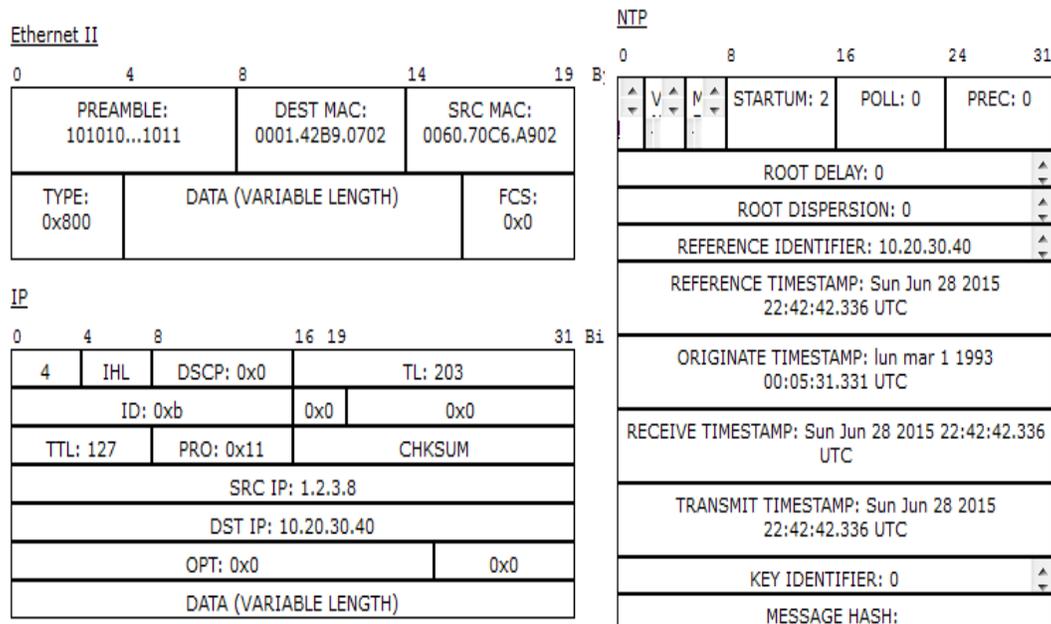


Figura 4-20 Mensaje que llega a cable modem

El análisis del mensaje anterior es el siguiente:

ETHERNET II	Corresponde
MAC SOURCE : 0060.70C6.A902 MAC	SOURCE: Router ISP DESTINO:
IP	Corresponde
IP SOURCE : 1.2.3.8 IP DESTINO : 10.20.30.40	SOURCE: Servidor NTP DESTINO:
NTP	Detalle
STRATUM 2 SE MARCA CON TRANSIST TIME. REFERENCE IDENTIFIER: SERVIDOR NTP.	No sufre grandes cambios en su transcurso a destino

Figura 4-21 Información del mensaje

El mensaje que llega nuevamente al router es el que se muestra en la figura 3-21.

Ethernet II				NTP						
0	4	8	14	19	0	8	16	24	31	
PREAMBLE: 101010...1011		DEST MAC: 0001.42B9.0702		SRC MAC: 0060.70C6.A902		0	M	STARTUM: 2	POLL: 0	PREC: 0
TYPE: 0x800	DATA (VARIABLE LENGTH)			FCS: 0x0		ROOT DELAY: 0				
					ROOT DISPERSION: 0					
					REFERENCE IDENTIFIER: 10.20.30.40					
					REFERENCE TIMESTAMP: Sun Jun 28 2015 22:42:42.336 UTC					
					ORIGINATE TIMESTAMP: lun mar 1 1993 00:05:31.331 UTC					
					RECEIVE TIMESTAMP: Sun Jun 28 2015 22:42:42.336 UTC					
					TRANSMIT TIMESTAMP: Sun Jun 28 2015 22:42:42.336 UTC					
					KEY IDENTIFIER: 0					
					MESSAGE HASH:					

IP			
0	4	8	16 19 31
4	IHL	DSCP: 0x0	TL: 203
ID: 0xb		0x0	0x0
TTL: 127	PRO: 0x11	CHKSUM	
SRC IP: 1.2.3.8			
DST IP: 10.20.30.40			
OPT: 0x0		0x0	
DATA (VARIABLE LENGTH)			

Figura 4-22 Mensaje que llega nuevamente al Router

El análisis del mensaje es el siguiente:

ETHERNET II	Corresponde
MAC SOURCE : 0060.70C6.A902 MAC	SOURCE: Router ISP DESTINO:
IP	Corresponde
IP SOURCE : 1.2.3.8 IP DESTINO : 10.20.30.40	SOURCE: Servidor NTP DESTINO:
NTP	Detalle
STRATUM 2 SE MARCA CON TRANSIST TIME. REFERENCE IDENTIFIER: SERVIDOR NTP.	Si bien muestra la marca de origen ya recibe y envía mensajes NTP completamente actualizados y corregidos, el que en un comienzo se envió correspondía a uno corriendo por defecto en el router sin previa programación

Figura 4-23 Detalles del mensaje que envió el Servidor

Luego de finalizado el viaje de mensajes hacia y desde el servidor NTP, para efectos de simulación y luego de actualizar su hora, el Router ISP es quien continua preguntando al servidor y envía mensajes hacia el otro extremo de la red, por ende el router0 luego le consulta al Router ISP y conversan entre ellos para actualización del reloj, se debe notar que ambos en su configuración se enlazaron al servidor, pero luego solo basta que el router0 converse con Router ISP, logrando de esta manera generar sincronismo utilizando el protocolo NTP. Un resumen del camino hacia el servidor se presenta en la siguiente Figura.

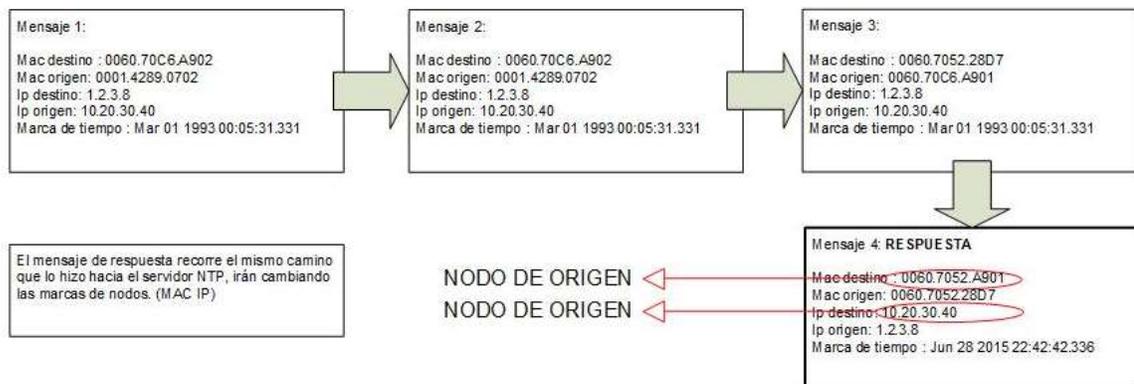


Figura 4-24 Viaje del mensaje de Actualización

4.3 IEEE 1588v2 (Precision Time Protocol).

4.3.1 Introducción.

Para sincronizar los relojes distribuidos en una red de área local, el protocolo de tiempo de redes NTP y el protocolo simple de tiempo de redes son métodos populares que resultan precisos en un rango de milisegundos. Sin embargo, para redes industriales, la sincronización de relojes requiere una mayor precisión.

El IEEE 1588v2 es el protocolo de precisión de tiempo, de allí obtiene su abreviación PTP, adoptado por primera vez en 2002 para aplicaciones de automatización y medición. Establece un método para la sincronización de relojes con precisión de microsegundos. También se adoptó PTP bajo el estándar IEC 61588 [5] en 2004. La segunda versión del estándar IEEE 1588 se ratificó en el año 2008 para abordar las aplicaciones de telecomunicaciones y de puente de audio-vídeo.

PTP se utiliza cuando los procesos necesitan estar sincronizados de manera exacta, como en la automatización y el control de sistemas, la medición y la prueba automática de los sistemas, la generación de energía, los sistemas de transmisión y distribución y las telecomunicaciones.

4.3.2 ¿Cómo funciona IEEEv2?

Una solución sencilla para sincronizar los relojes en una red Ethernet podría ser enviar un mensaje con el valor o información de tiempo del reloj maestro a los esclavos. Tras recibir el mensaje, los esclavos simplemente se restablecerían para coincidir con el valor de tiempo del reloj maestro. Sin embargo, a causa del tiempo que se emplea en enviar el mensaje debido a los retrasos en la propagación en la ruta Ethernet, los retrasos por la puesta en cola del procesador y a la creación y latencia del mensaje IP, el tiempo real en el que el esclavo recibe el mensaje ya no representa de forma precisa el tiempo especificado por el reloj maestro. PTP aborda estos problemas con el uso de mensajes de protocolo enviados entre varios nodos PTP para determinar el desfase del reloj y los retrasos inherentes en la red.

PTP cuenta con dos tipos de reloj, los maestros y los esclavos. Los esclavos son los que se encuentran en los dispositivos terminales. Un reloj maestro, perfectamente controlado por un radio reloj externo o un receptor GPS, sincroniza los respectivos esclavos que están conectados a él. Una red también presenta componentes de transmisión, como switches Ethernet, con un reloj boundary. El reloj boundary funciona como esclavo de un reloj maestro y, a su vez, los switches funcionan como relojes maestros para dispositivos terminales esclavos. Cada esclavo está sincronizado con la hora, la frecuencia y la fase del reloj maestro y, por extensión, sincronizado con los nodos del resto de esclavos.

El proceso de sincronización se divide en dos fases. Primero, precisar el desfase del reloj y, segundo, determinar la medida del retraso.

Para ilustrar esto, el diagrama de la figura 3-23 muestra los pasos seguidos para sincronizar el reloj esclavo con el reloj maestro. En este ejemplo, el reloj esclavo empieza con un desfase (diferencia) con respecto al maestro de 20 segundos (por ejemplo, el maestro se encuentra a 100 segundos y el esclavo a 80).

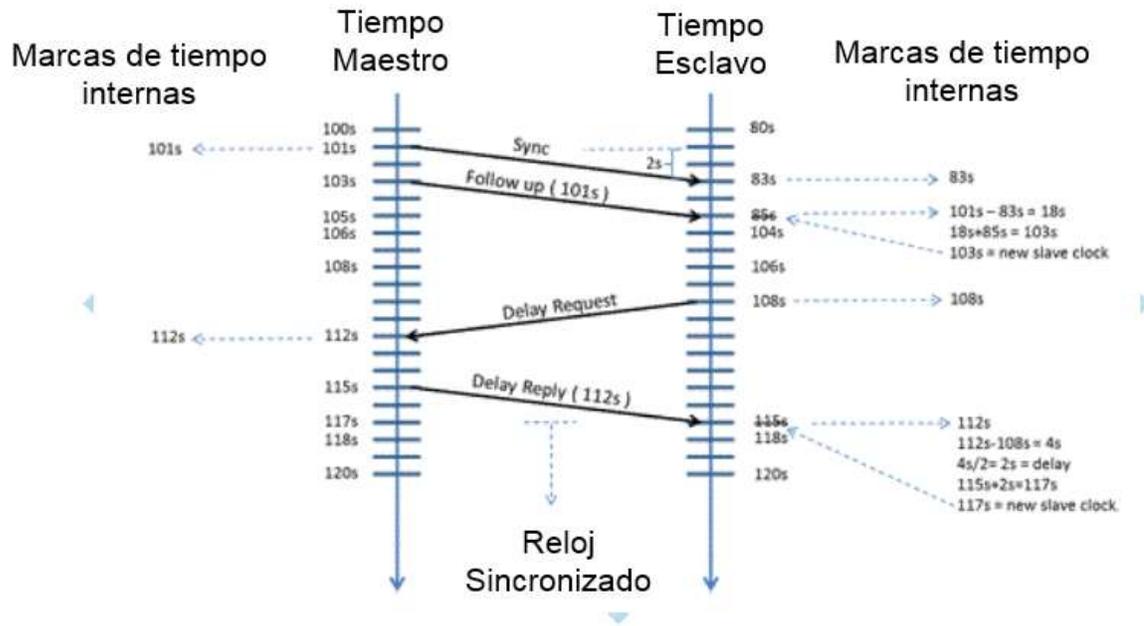


Figura 4-25 Ejemplo de sincronización mediante PTP (Fuente: Elaboración propia)

El reloj maestro crea un mensaje de sincronización a los 100 segundos para enviar al esclavo. Sin embargo, debido a la puesta en cola interna y la latencia, el mensaje se envía y se determina una marca de tiempo interna a los 101 segundos de la hora local del reloj maestro. Debido a los retrasos en la red, el esclavo recibe el mensaje de sincronización dos segundos más tarde, a los 83 segundos. El reloj maestro envía un mensaje Follow_up a los 103 segundos. Este mensaje Follow_up contiene la marca de tiempo previamente determinada a los 101 segundos. El reloj esclavo recibe el mensaje Follow_up dos segundos más tarde, a los 85 segundos. El esclavo toma los 101 segundos del mensaje y le resta a la marca de tiempo anterior los 83 segundos, lo que da como resultado un desfase de 18 segundos. Se añade el desfase al tiempo real, lo que da como resultado una nueva cifra en el reloj de 103 segundos. Sin embargo, el reloj maestro y el esclavo no están completamente sincronizados. Este nuevo ajuste no ha tenido en cuenta el retraso en la red. La segunda fase determina el retraso de la red, en donde el esclavo envía un mensaje de solicitud de retraso al maestro a los 108 segundos. El maestro recibe y almacena este mensaje a sus 112 segundos. Se envía un mensaje de respuesta al esclavo con el momento (112 segundos) en el que se recibió el mensaje de solicitud de retraso. El esclavo recibe el mensaje de respuesta a sus 115 segundos. El esclavo puede ahora determinar el retraso de la red restando la hora a la que mandó el mensaje de solicitud de retraso (108 segundos) de la hora a la que el maestro recibió el mensaje de solicitud de retraso (112 segundos), lo que da como resultado un valor de 4 segundos. Sin embargo, puesto que se enviaron dos mensajes, el resultado se divide entre dos, lo que resulta en un retraso de dos segundos. El esclavo ajusta su reloj en 2 segundos (117 segundos) y ya se encuentra perfectamente sincronizado con el maestro.

Los relojes internos de los dispositivos se cambiarán de forma inevitable a lo largo del tiempo. Para solucionar el problema, el reloj maestro ejecutará una secuencia de sondeos periódicos sobre los esclavos para mantener la precisión de los mismos con respecto al reloj maestro. Al usar switches entre el reloj maestro y los esclavos, el tiempo de ejecución de las variaciones que se

producen en los switches provoca imprecisiones en los mensajes enviados entre el maestro y los esclavos. Dado que los switches guardan los paquetes de datos recibidos y que los efectos de cola pueden retrasar de forma considerable la transmisión en algunos casos, se pueden producir grandes oscilaciones. Con una carga de red baja, esto no tiene un gran efecto, pero cuando la carga de red es más alta, puede afectar de forma considerable la precisión de la sincronización. Este problema se resuelve con switches Ethernet con funcionalidades de reloj boundary IEEE 1588 PTP. Estos contienen su propia funcionalidad PTP en la que funcionan como esclavos PTP y están sincronizados con el reloj maestro conectado. Para los esclavos PTP de bajada, cada puerto del switch funciona como maestro PTP y sincroniza a los esclavos con su hora interna. Esto compensa todas las oscilaciones del tiempo de ejecución y tiempos de espera en los switches y permite que se alcance una precisión máxima incluso con redes Ethernet más amplias.

4.3.3 Dominio de reloj.

Lógicamente una red física puede ser dividida en múltiples dominios, cada dominio de reloj tiene su propia referencia con el cual todos los dispositivos en el dominio son sincronizados. Cada dominio de reloj tiene su propia referencia en tiempo y estos tiempos son independientes unos de otros.

Un dispositivo solo puede unirse a un dominio y puede sincronizarse solo con el tiempo que posee el dominio al cual esta adherido.

4.3.4 Nodos como relojes.

Cada nodo de una red de sincronización es un reloj. El protocolo 1588v2 define los siguientes tipos de nodos de sincronización o relojes del protocolo.

- Ordinary Clock.

Un Ordinary Clock tiene solo una interfaz de reloj 1588 a través del cual el OC se sincroniza con el nodo que viene en orden superior o distribuye señales a los nodos que se encuentran en orden inferior.

- Boundary Clock.

Un Boundary Clock tiene múltiples interfaces de reloj 1588v2, una de la cuales es usada para sincronizarse con los nodos de orden superior, la otra interfaz puede ser usada para distribuir señales de reloj a los nodos de orden inferior.

- Transparent clock

Un Transparent clock no sincroniza el tiempo con otros dispositivos (a diferencia de los BCs Y Ocs) pero tiene múltiple interfaces de reloj 1588v2 a través de los cuales transmite mensajes 1588v2 y mensajes de corrección de delays.

4.3.5 Mensaje utilizados dentro del protocolo.

A continuación se analizan los mensajes utilizados por el protocolo, como también la función que cumple cada uno de ellos en el proceso de sincronización. El funcionamiento de PTP se puede separar en dos fases importantes dentro de las cuales cada una usa mensajes destinados a la intercomunicación que cumplen funciones específicas.

4.3.6 Fase 1.

En la Fase 1 una jerarquía de relojes es establecida para determinar cuál reloj debería ser asignado como Maestro, cada puerto de cada uno de los relojes (“Ocs y BCs”) establece su propio rol basándose en la información recibida en el mensaje “Announce” desde los otros relojes que están en el estado de Maestro. La información o data recibida es comparada con el reloj local (con la información que posee el reloj local) y determina cuando este debe ser maestro o solo un miembro más de dominio.

4.3.7 Fase 2.

Una vez que la jerarquía se ha establecido como se describió en el Fase 1, los relojes en el dominio son sincronizados intercambiando los siguientes mensajes de sincronización.

Tabla 4-2 Fase 2

Desde-Hacia	Detalle
Maestro a Esclavo.	“Sync Message” se marca con una marca de tiempo cuando es enviado por el maestro y nuevamente cuando es recibido por el miembro.
Maestro a Esclavo.	“Delay_Request” se marca con una marca de tiempo cuando es enviado por el miembro y nuevamente cuando es recibido por el maestro.
Maestro a Esclavo.	“Delay_Response” (incluye la marca de tiempo de “Delay_Request”)
Esclavo.	Usa la información de marca de tiempo enviada para poder sincronizarse con el Maestro.

Aparte de los mensajes mostrados en la tabla anterior existen en totalidad más de 10 diferentes mensajes usados dentro del protocolo PTP, cada mensaje tiene su propia función específica dentro del diseño de todo el protocolo.

La descripción de la estructura y funciones de estos mensajes es analizada a continuación.

- Agrupación de mensajes utilizados en protocolo PTP.

Tabla 4-3 General Messages

Agrupación	Nombre	Bits	Función
Event Messages	Sync	352	Sincronización de reloj.
	Delay_Req	352	Sincronización de reloj
	Pdelay_Req	432	Detalles del delay punto a punto
	Pdelay_Resp	432	Detalles del delay punto a punto
Agrupación	Nombre	Bits	Función
General Messages	Announce	512	Establece y mantiene la jerarquía de reloj (BMC)
	Follow_up	352	Sincronización de reloj.(Two Step)
	Delay_Resp	432	Sincronización de reloj.
	Pdelay_Resp_Follow_up	432	Detalles de Delay punto a punto
	Management	384+m	Actualización información PTP enviada, generación de eventos, inicialización de sistemas, reportes y regeneración de fallas. En donde m se determina por la información a transmitir
	Signaling	48+n	Para informar de tipos, valores de variables entre elementos de sistema. En donde n se determina por la información a transmitir.

Los Event Messages son de gran importancia y su correcta transmisión determina la precisión en la transmisión de sincronismo a través de los nodos. Los mensajes Pdelay son usados para determinar la propagación de enlace punto a punto entre relojes y no son transmitidos por Boundary Clocks o Transparent Clocks.

4.3.8 Modos de operación.

Los principios utilizados en 1588v2 y NTP son los mismos. Los nodos maestros y esclavos intercambian paquetes de información de la señal de referencia y calculan el delay producido en 2 direcciones de acuerdo a las marcas de tiempo recibidas y enviadas en el intercambio de paquetes analizando las marcas de tiempo adosadas a este.

- Delay Mode.

El Delay Mode es aplicado a los requerimientos de precisión de los E2E. La figura 3-24 muestra la manera en que van apareciendo o mandando los mensajes con sus marcas de tiempo o timestap.

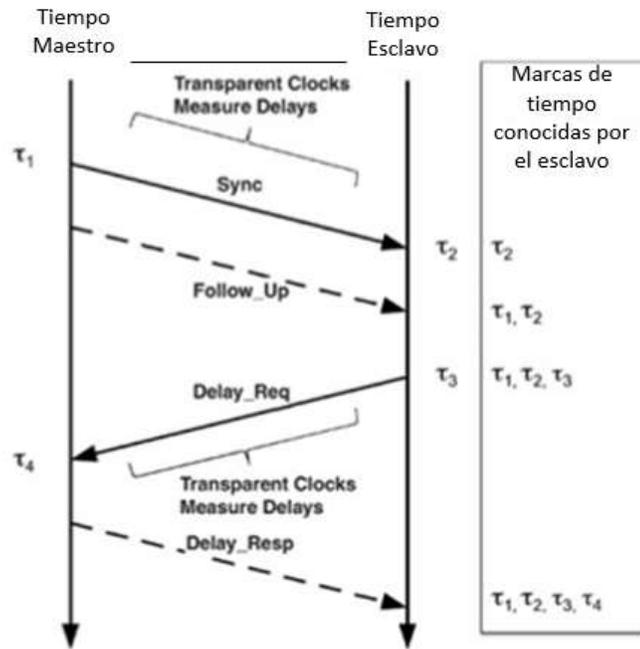


Figura 4-26 Delay Mode (Fuente. Elaboración propia).

Un nodo maestro envía periódicamente un paquete de sincronización que transporta la marca de tiempo de envío t_1 al nodo esclavo. Cuando el nodo esclavo recibe el paquete de sincronización, registra la marca t_2 en el paquete. El nodo esclavo envía periódicamente el paquete Delay_Req que transporta la marca de tiempo de envío t_3 al nodo maestro. Cuando el nodo maestro recibe el paquete Delay_req, marca el paquete con la hora t_4 en el paquete y devuelve un paquete Delay_resp al nodo esclavo. Este recibe un conjunto de marcas de tiempo, incluyendo t_1, t_2, t_3 y t_4 . Otros elementos que afectan al retardo de enlace son ignorados.

El desplazamiento de tiempo entre los nodos maestro y esclavo es igual a:

$$\text{Desplazamiento entre nodos} = \frac{(t_2 - t_1) - (t_4 - t_3)}{2}$$

Basándose en la compensación de tiempo, el nodo esclavo se sincroniza con el nodo maestro. Como se muestra en la figura a continuación, la sincronización de tiempo se realiza repetidamente para asegurar una actualización constante entre los nodos maestros y esclavo.

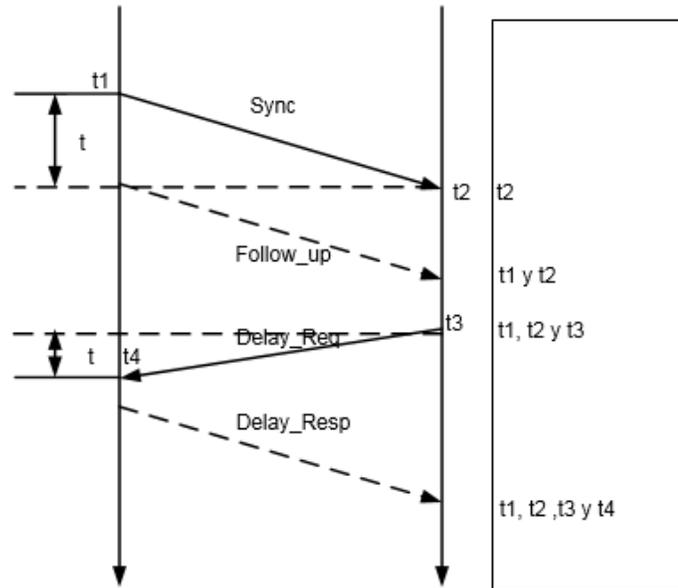


Figura 4-27 Intercambio mensajes PTP (Fuente: Elaboración propia).

El BC y el OC pueden conectarse directamente como se muestra en la figura anterior. Alternativamente, se pueden conectar a través de otros dispositivos, pero estos dispositivos deben ser TC para asegurar la precisión de la sincronización de tiempo. El TC sólo transmite paquetes de 1588v2 de forma transparente y corrige el retardo de transmisión de paquetes (que requiere que el TC identifique estos paquetes de 1588v2).

Para garantizar la alta precisión de la sincronización de tiempo con 1588v2, es necesario que los retardos de transmisión de paquetes en dos direcciones entre los nodos maestro y esclavo sean estables. Por lo general, el retardo de enlace es estable, pero el retardo de transmisión en los dispositivos es inestable. Por lo tanto, si dos nodos que realizan sincronización de tiempo están conectados a los dispositivos de reenvío, no se puede garantizar la precisión en la sincronización de tiempo. La solución al problema es realizar la corrección del retardo de transmisión en estos dispositivos de reenvío, que requieren que los dispositivos de reenvío sean Transparent Clocks. Los TCs realizan la corrección de retardo de transmisión añadiendo el tiempo que tarda en transmitir el paquete al campo de corrección de un paquete 1588v2. Esto significa que el TC deduce la marca de tiempo de recepción del paquete 1588v2 en su interfaz de entrada y agrega la marca de tiempo de envío al paquete 1588v2 en su interfaz de salida.

De esta manera, el paquete 1588v2 intercambiado entre los nodos maestro y esclavo, al pasar por múltiples TC, lleva retrasos de transmisión de paquetes de todos los TCs en el campo de corrección. Cuando se deduce el valor del campo de corrección, el valor obtenido es el retardo de enlace, lo que garantiza una sincronización de tiempo de alta precisión. Un TC que registra el retardo de transmisión de extremo a extremo como se describe anteriormente es el E2E TC. La sincronización de tiempo en modo Delay se puede aplicar sólo a E2E TCs.

- Pdelay Mode.

Cuando se realiza sincronización de tiempo en modo Pdelay, el nodo esclavo deduce tanto el retardo de transmisión de paquetes como el retardo de enlace ascendente. Esto requiere que los dispositivos adyacentes realicen la medición de retardo en el modo Pdelay para permitir que cada dispositivo en el enlace conozca su retraso de enlace ascendente, en la ilustración se muestra la medición del retardo en el modo Pdelay.

El nodo 1 envía periódicamente un paquete Pdelay_req que lleva la marca de tiempo de envío t_1 al nodo 2. Cuando se recibe el paquete Pdelay_Req, se escribe la marca de tiempo t_2 del nodo 2 al paquete Pdelay_req. A continuación, el nodo 2 envía un paquete Pdelay_resp que lleva la marca de tiempo de envío t_3 al nodo 1. Cuando se recibe el paquete Pdelay_resp, se escribe la marca de tiempo t_4 del nodo 1 al paquete Pdelay_resp. El nodo 1 obtiene un conjunto de marcas de tiempo, incluyendo t_1, t_2, t_3 y t_4 . Otros elementos que afectan al retardo de enlace son ignorados.

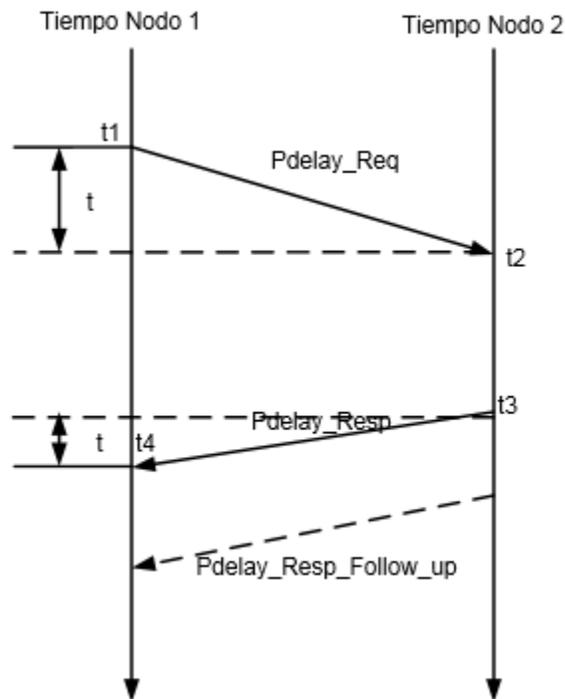


Figura 4-28 Pdelay mode (Fuente: Elaboración propia).

Los retardos de transmisión de paquetes en dos direcciones en el enlace entre el nodo 1 al nodo 2 son iguales a $(t_4 - t_1) - (t_3 - t_2)$. Si los retardos de transmisión de paquetes en dos direcciones en el enlace entre el nodo 1 y nodo 2 son idénticos, el retardo de transmisión de paquetes en una dirección es igual a:

$$\text{Retardo transmisión en una dirección} = \frac{(t_4 - t_1) - (t_3 - t_2)}{2}$$

La medición de retardo en modo Pdelay no diferencia entre los nodos maestro y esclavo. Todos los nodos envían paquetes Pdelay a sus nodos adyacentes para calcular el retardo de enlace adyacente. Este proceso de cálculo se repite y el retardo de transmisión de paquetes en una dirección se actualiza en consecuencia. La medición de retardo en el modo Pdelay no activa la sincronización de tiempo, los nodos maestros deben enviar paquetes de sincronización periódicamente al nodo esclavo y el nodo esclavo recibe las marcas de tiempo t_1 y t_2 . El nodo esclavo deduce entonces el retardo de transmisión de paquetes en el enlace desde el nodo maestro al nodo esclavo (ver figura 3-26).

El campo $(t_2 - t_1 - correccion)$ obtenido es el desfase de tiempo entre los nodos esclavo y maestro. El nodo esclavo usa la compensación de tiempo para sincronizarse con el nodo maestro. La figura muestra cómo la sincronización de tiempo se implementa en modo Pdelay en el escenario en el que BC y OC están conectados directamente.

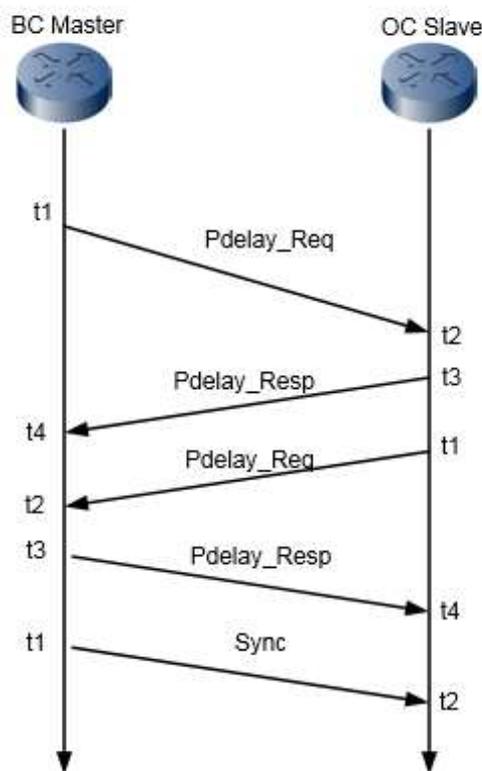


Figura 4-29 Ejemplo de funcionamiento de BC o OC (Fuente: Elaboración propia).

Alternativamente, el BC y OC pueden conectarse a través de otro dispositivo que funciona como TC para asegurar la precisión de la sincronización de tiempo. El TC sólo transmite paquetes de 1588v2 de forma transparente y corrige el retardo de transmisión de paquetes. El P2P-TC tiene una estructura de dispositivo similar a E2E-TC, pero tiene un mecanismo de retardo de pares configurado en cada interfaz. El mecanismo calcula el retardo de enlace entre las interfaces locales y remotas en los enlaces compartidos. La figura muestra cómo se realiza la corrección de retardo de transmisión en un P2PTC.

- Corrección asimétrica.

Teóricamente, 1588v2 requiere que los retardos de transmisión de paquetes en dos direcciones en un enlace sean simétricos. De lo contrario, los algoritmos de sincronización de tiempo 1588v2 no se pueden implementar. En la práctica, sin embargo, los retardos de transmisión de paquetes en dos direcciones en un enlace pueden ser asimétricos debido a los atributos de un enlace o un dispositivo. Por ejemplo, si los retardos entre la recepción del paquete y el marcado temporal del paquete en dos direcciones son diferentes, 1588v2 proporciona un mecanismo de corrección de retardo asimétrico, como se muestra en la figura 3-28.

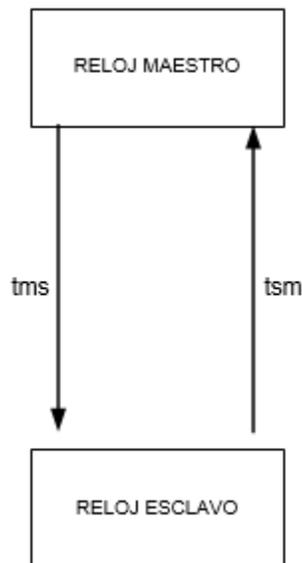


Figura 4-30 Corrección asimétrica (Fuente: Elaboración propia)

Usualmente t_{-ms} es idéntico a t_{-sm} , si ellos fueran diferentes, 1588v2 calcula el valor de acuerdo a la corrección asimétrica según los datos que va obteniendo. De esta manera es como provee sincronización a tan alta precisión.

4.3.9 Encapsulación del paquete en 1588v2.

1588v2 define los siguientes modos de encapsulación de paquetes múltiples:

- Encapsulación layer 3 unicast a través de unicast UDP.

El número de puerto UDP de destino es 319 o 320, dependiendo de los tipos de paquetes 1588v2. Actualmente, se recomienda que las estaciones base adopten la encapsulación unicast de capa 3. El servidor de reloj IP consta de múltiples BTS y utiliza transmisión unicast UDP para intercambiar paquetes de protocolo 1588v2. La figura 3-26 muestra el encapsulado unicast de capa 3 sin etiquetas VLAN.

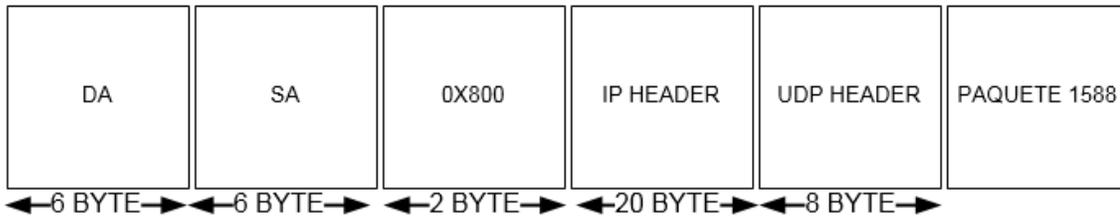


Figura 4-31 Encapsulado Unicast capa 3 sin VLAN (Fuente: Elaboración propia).

En la figura 3-30 se muestra con las etiquetas VLAN.

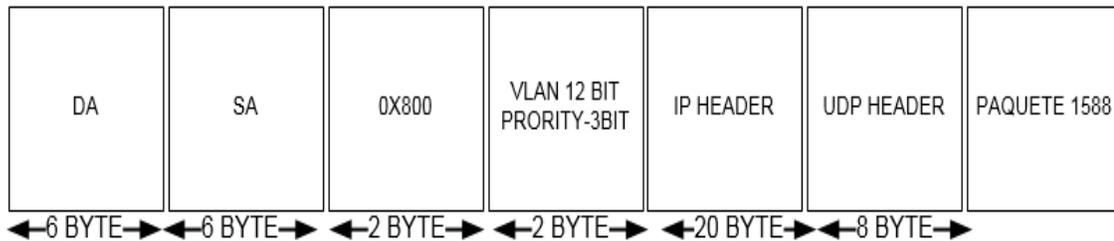


Figura 4-32 Encapsulado Unicast capa 3 con VLAN (Fuente: Elaboración propia).

4.3.10 Sincronización en frecuencia con 1588v2.

Además de la sincronización de tiempo, 1588v2 se puede utilizar para sincronización de reloj, es decir, la recuperación de frecuencia se puede lograr a través de paquetes de 1588v2. La sincronización de tiempo 1588v2 en modo Delay o Pdelay requiere que el dispositivo envíe periódicamente paquetes de sincronización a su interlocutor. El paquete de sincronización enviado lleva una marca de tiempo de envío. Después de recibir el paquete de sincronización, el nodo agrega una marca de tiempo de recepción. Cuando el retraso del enlace es estable, los dos cambios de hora cambian al mismo ritmo. Si los cambios de fecha y hora de recepción son más rápidos o más lentos, indica que el reloj del dispositivo receptor se ejecuta más rápido o más lento que el reloj del dispositivo emisor. En este caso, el reloj del dispositivo de recepción necesita ser ajustado. Cuando esto ocurre, las frecuencias de los dos dispositivos están sincronizadas.

La frecuencia restablecida a través de paquetes 1588v2 tiene una precisión inferior a la sincronización de frecuencia a través de Synchronous Ethernet. El protocolo 1588v2 restaura la frecuencia en los siguientes modos:

- Hop by Hop.

En el modo hop-by-hop, todos los dispositivos en un enlace son necesarios que soporten el protocolo 1588v2. La recuperación de frecuencia en este modo es muy precisa. La exactitud de la recuperación de la frecuencia satisface el requisito de la Recomendación ITU-T G.813 (Estándar 3)[6].

- End to end (En el tránsito de la red pueden ocurrir retardos).

En el modo de extremo a extremo o end to end, los dispositivos de reenvío no necesitan soportar 1588v2, y el retardo de la ruta de reenvío sólo se requiere para cumplir con un nivel especificado, por ejemplo, inferior a 20 ms. La exactitud de recuperación de frecuencia en este modo es baja y puede satisfacer los requisitos de la recomendación G.8261 [7] y las estaciones base (50 pps). Para lograr una alta precisión de recuperación de frecuencia, los paquetes de sincronización deben transmitirse a una frecuencia alta. Por ejemplo para la sincronización de la frecuencia de la capa física, se deben transmitir al menos 16 paquetes por segundo, en cambio para la sincronización de frecuencia con 1588v2, se deben transmitir al menos 128 paquetes por segundo.

4.3.11 Perfil PTP con soporte completo en ruta (G.8275.1 [8])

El protocolo IEEE 1588-2008 es una tecnología probada para distribuir sincronización sobre redes de Backhaul basadas en paquetes a elementos de redes móviles que requieren sincronización en frecuencia, entre otros requerimientos. Hay cientos de redes con éxito utilizando esta tecnología hoy en día siguiendo el perfil PTP estándar estipulado en la recomendación de la ITU G.8265.1 [9]. Normalmente se implementa utilizando un GM PTP centralizado (con referencia primaria de GNSS para cumplir con los requisitos PRTC de G.8272 [10]), que a continuación se comunica con un esclavo o cliente dentro de los elementos de una red móvil, permitiendo al cliente determinar la frecuencia y calcular el tiempo. En consecuencia, la ITU está elaborando nuevas normas, entre ellas nuevos perfiles que aprovechan las capacidades previstas en el protocolo IEEE 1588-2008[11].

La recomendación ITU-T G.8275.1 [8] es un trabajo en progreso para un nuevo perfil PTP que permite que los requisitos estrictos de tiempo y fase en la estación base se cumplan a través de una red desde un GM PTP centralizado. El mantenimiento de la precisión y exactitud se logra mediante el despliegue de “soporte completo en la ruta” de las señales de sincronización PTP. El soporte en ruta se proporciona mediante una función de reloj de límite incrustada en cada elemento de red en el camino entre el maestro y el cliente. Incluyendo todos los switches, routers, radios de microondas, etc. Cada Boundary Clock incorpora un cliente PTP que se comunica con su elemento de estrato superior inmediato para recuperar tiempo y luego actúa como un Maestro PTP para entregar información de tiempo a los Boundary Clocks conectados o a los clientes del dispositivo final.

Por el otro lado Synchronous Ethernet (SyncE) está cubierto en la norma en el sentido de como proporcionar soporte de referencia de frecuencia para un mejor rendimiento, pero no es un requisito. La poca experiencia indica que SyncE debería incluirse en los despliegues. La figura 3-31 es una representación simplificada de una red siguiendo el perfil PTP G.8275.1 [8]. El soporte completo en ruta se ajustará mejor a los escenarios en los que se está desplegando un nuevo equipo de Backhaul en cada ubicación. Pero tiene desventajas prácticas en otros escenarios de red. Muchos proveedores de servicios móviles no son propietarios ni controlan sus redes de Backhaul y los proveedores independientes de red de Backhaul de terceros pueden no estar dispuestos a actualizar sus elementos de red para un soporte completo en ruta o pueden hacerlo sólo a precios incrementados para el operador de la red móvil. Incluso las redes de telefonía fija propiedad de la misma empresa como el operador móvil pueden resistir el costo de una amplia actualización, retro adaptación o sustitución.

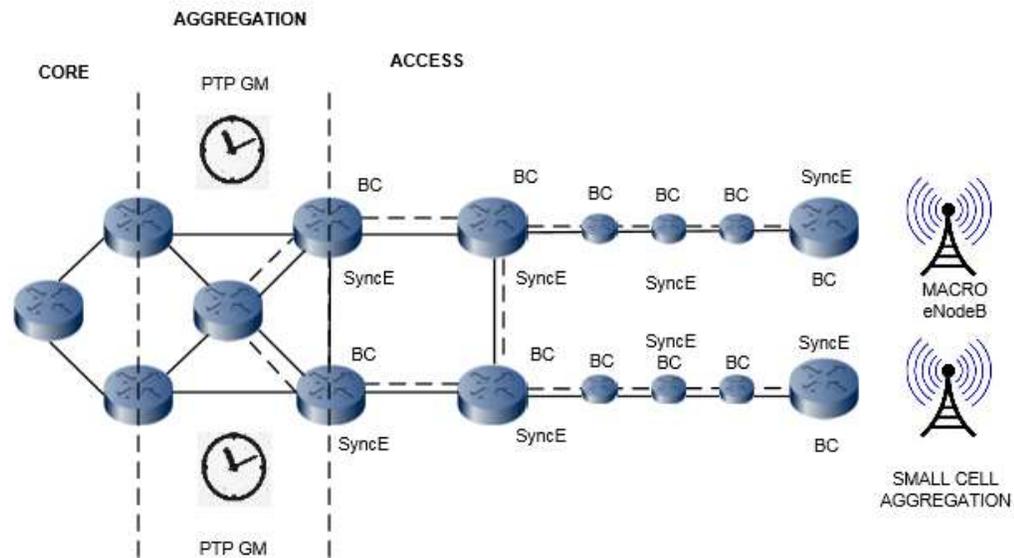


Figura 4-33 Despliegue según G8275.1 (Fuente: Elaboración propia.)

Otro problema introducido por la necesidad de una sincronización de fase y tiempo estricta es el impacto de la variación del retardo de paquetes (PDV) o asimetría cuando los paquetes PTP viajan de un lado a otro a través de la red. Los relojes de frontera ajustan la marca de tiempo para tener en cuenta el tiempo que reside en el elemento de red, incluido el procesamiento de paquetes, el almacenamiento en búfer y los retrasos en la cola que crean una variación del retardo de paquetes que de lo contrario introduciría errores en el cálculo del tiempo. Sin embargo, los relojes de frontera por sí solos no pueden compensar la asimetría de caminos, o diferencias en los caminos en ambos sentidos entre el gran maestro y el cliente. Cuando se hace referencia a relojes de frontera se hace referencia a los Boundary Clock del protocolo PTP.

4.4 Synchronous Ethernet.

4.4.1 Introducción.

En las últimas dos décadas, Ethernet se ha convertido en la tecnología dominante para la transmisión de datos, en particular, con los proveedores de telecomunicaciones y de servicios inalámbricos debido a su simplicidad y bajo coste. Por ejemplo, los servicios de multiplexación por división de tiempo tales como T1 / E1 y SONET / SDH requieren relojes sincronizados tanto en los nodos de origen como de destino. De la misma manera, la estación base inalámbrica requiere sincronización a un reloj común para asegurar una correcta transferencia de llamada entre las células adyacentes.

SyncE utiliza la interfaz de la capa física para pasar la sincronización de nodo a nodo de la misma manera que se pasa la sincronización en SONET / SDH o T1 / E1. Esto da a los proveedores de telecomunicaciones y proveedores de servicios inalámbricos, confianza de que la red basada en SyncE será no sólo rentable, sino también tan altamente confiable como las redes SONET / SDH y T1 / E1.

A medida que crece el interés de los proveedores de servicios, muchos proveedores de equipos Ethernet están desarrollando equipos compatibles con SyncE. A menudo no tienen suficiente comprensión de la sincronización y pueden subestimar la complejidad del problema.

4.4.2 Evolución en Synchronous Ethernet.

La conmutación de redes TDM a redes de paquetes podría considerarse en un primer momento como un cambio importante que requiere un estudio cuidadoso. Las redes TDM son tecnologías que tienen originalmente la capacidad de llevar una referencia de sincronización mediante la capa física. Las tecnologías de paquetes fueron inicialmente diseñadas para trabajar en modo asíncrono en donde los osciladores del equipo están funcionando libremente. Aunque esto permite que la infraestructura subyacente funcione, existen muchas aplicaciones que requieren sincronización de frecuencia y más aún se requiere estabilidad en las estaciones base para hacer uso eficiente del espectro de radiofrecuencia.

La emulación de servicios TDM también puede requerir una frecuencia sincronizada y estable para estar disponible en los puntos de emulación, que están en el borde de la red. Es evidente que los requisitos para la sincronización de frecuencia están cambiando de ser requerimientos del núcleo de la red a ser un requisito de la aplicación de borde. Además, la capacidad de distribuir la sincronización de centro a borde disminuye a medida que la infraestructura evoluciona hacia una arquitectura basada en paquetes. Esto se puede representar fácilmente como un diagrama que parece cada vez más como un donut, donde el agujero describe la capacidad de transporte de sincronización de frecuencia en el centro.

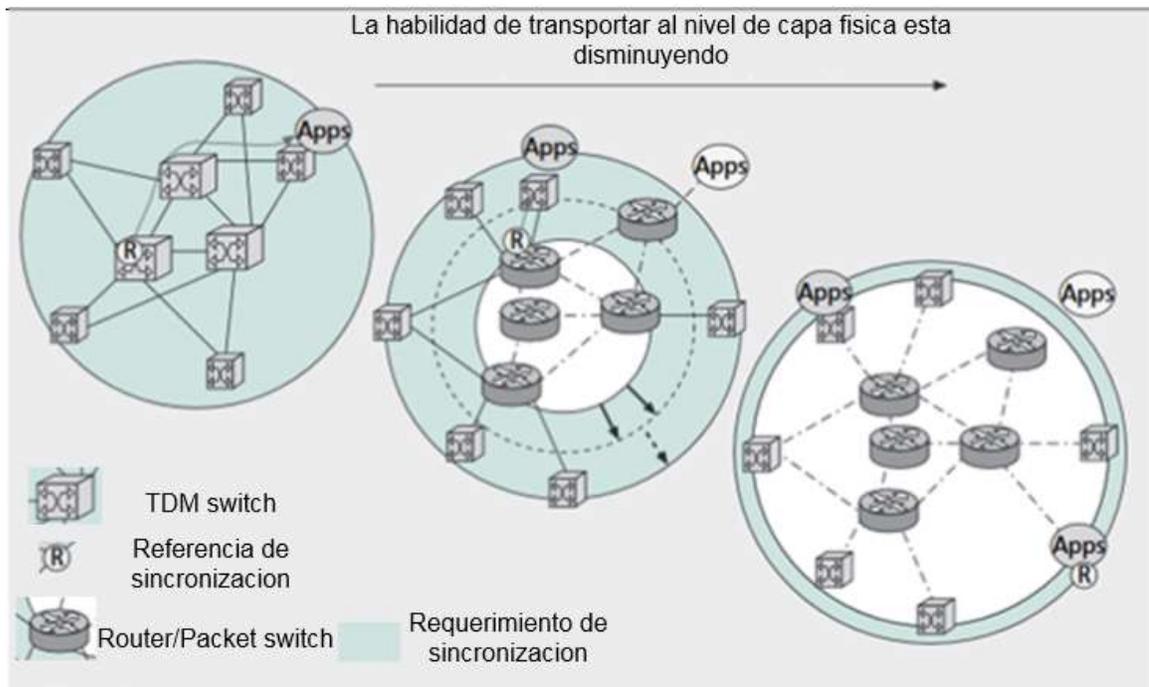


Figura 4-34 Evolución en arquitectura de la red.

Las tecnologías y aplicaciones TDM tradicionales requieren sincronización de frecuencias en todas las partes de la infraestructura para funcionar.

Cuando la infraestructura ya no está sincronizada, los datos se pierden, la aplicación experimenta deterioro y el servicio se degrada. Los niveles máximos de inestabilidad de fase, descritos en términos de fluctuación y de desplazamiento, se rigen por la Unión Internacional de Telecomunicaciones en las recomendaciones de ITU-T series G.81XX [12].

Tradicionalmente, el transporte de sincronización se ha llevado a cabo durante años con redes TDM mediante las señales de línea a nivel de la capa física, utilizando principios bien conocidos, reglas de ingeniería y experiencia. Este enfoque también puede aplicarse a las redes de paquetes basados en Ethernet que usan SyncE.

4.4.3 Evolución según estándares establecidos.

La propuesta de especificar el transporte de un reloj de referencia sobre enlaces Ethernet fue llevada por los operadores según la comisión de estudio 15 [13] de ITU-T en septiembre de 2004. El análisis indicó que dicha característica es coherente con la norma IEEE 802.3[14]. Los relojes de SyncE están dentro de $\pm 4,6$ ppm, lo que ocurre en la gama de frecuencias de las interfaces Ethernet. Además, al sincronizar externamente el reloj Ethernet, la trazabilidad PRC de la interfaz es alcanzable. Otras funciones claves que también fueron desplegadas por los operadores, fue la necesidad de funcionamiento entre SONET / SDH y equipos de SyncE para así tener una sola red de sincronización para gestionar. Esta propuesta estaba en línea con las extensiones actuales de equipos SONET / SDH con interfaces Ethernet. Esto derivó en tres decisiones importantes, las cuales son:

- Ampliar el alcance de la cadena de sincronización que se referencia en la publicación de ITU G.803 [15] a equipos de SyncE. Esto se ha hecho en la publicación G.8261, que define los aspectos arquitectónicos de SyncE.
- Para especificar relojes de sincronización de Ethernet compatibles con relojes SONET / SDH como se definen en G.813 [6] y G.812 [16]. Esto se ha hecho en G.8262 [17], que especifica los relojes para equipos de SyncE.
- Para utilizar el mensaje de estado de sincronización (SSM), como se define en G.707 [18]. Los mensajes de estado de sincronización contienen una indicación del nivel de calidad del reloj que está impulsando la cadena de sincronización y se utilizan para controlar, mantener y restaurar las cadenas de sincronización de los equipos de sincronización de Ethernet. El IEEE propuso una solución basada en el Protocolo Lent. El ITU-T desarrolló el protocolo, que se incluye en la Recomendación G.8264 [19].

Los detalles de las funciones de sincronización que debían implementarse en equipos de SyncE se han añadido en una nueva versión de G.781 [20], que originalmente especificó estas funciones sólo para equipos SDH. La Recomendación ITU-T G.8261 [7], fue el primer documento que introdujo el concepto de Sync-E como parte de los estudios relacionados con los aspectos de sincronización en las redes de paquetes. Esta tecnología ha sido normalizada por el ITU-T como resultado directo de la experiencia adquirida con la distribución de sincronismo sobre las redes SONET / SDH. Desde el principio, G.8261 [7] fue reconocido como la principal referencia para esta tecnología, aunque la primera versión de la norma presentó varios aspectos no definidos en su totalidad. Debido a ello, los conceptos iniciales incluidos en la versión G.8261 [7] se han ampliado y complementado con una revisión de G.8261 [7]. Esta versión revisada proporciona requisitos más detallados y directrices de arquitectura de una manera similar a como se hizo para la estandarización de redes de sincronización basadas en SONET / SDH.

La normalización de Sync-E se completó finalmente durante el mismo período por otras dos recomendaciones fundamentales, las cuales son G.8262[17] y G.8264[19]. La recomendación ITU-T G.8262[17] define los requisitos para la precisión del reloj, la transferencia de ruido, el rendimiento del holdover, la tolerancia al ruido y la generación del ruido, define dos opciones para relojes de SyncE, estos relojes se denominan relojes esclavos de equipos síncronos Ethernet o EECs.

La primera opción, denominada Opción 1 de la EEC (EEC-1), se aplica a los equipos de Sync-E diseñados para interconectarse con redes optimizadas para la jerarquía de 2048 kb / s. Los requisitos para esta opción se basan en los que se encuentran en la recomendación G.813[6] utilizada en las redes SDH.

La segunda opción, denominada Opción 2 de la EEC o EEC-2, se aplica a los equipos SyncE diseñados para interactuar con redes optimizadas para la jerarquía de 1544 kb / s. Los requisitos para esta opción son compatibles con los requisitos de los relojes Stratum 3 desplegados en elementos de red SONET. Para permitir que un enlace Synchronous Ethernet se lleve a cabo se

debe conocer el nivel de calidad del SSM QL como se define en las publicaciones de la ITU-T G.707 [18] y G.781 [20].

Se ha definido un canal específico basado en IEEE 802.3, actualmente especificado en IEEE 802.3 [14]. El protocolo de canal de mensajería de sincronización Ethernet está compuesto por el encabezado Ethernet estándar para un protocolo lento, un encabezado específico ITU-T, un indicador y una estructura de valor de longitud del tipo TLV. El uso de banderas y TLVs tiene como objetivo mejorar opcionalmente la gestión del enlace SyncE y la cadena de sincronización asociada. La Recomendación ITU-T G.8264 [19] define actualmente dos mensajes, Evento e Información. Los dos tipos de mensajes son necesarios para cumplir con los estrictos requisitos de retardo establecidos en la Recomendación ITU-T G.781 [20], cumpliendo al mismo tiempo los requisitos de velocidad de transmisión de mensajes en los protocolos lentos. El protocolo permite futuras mejoras a través de la definición de nuevos TLVs según sea apropiado

4.4.4 Publicación G8010 [21] “Arquitectura Ethernet”.

Ethernet se ha descrito en la Recomendación ITU-T G.8010 [21] como una red de dos capas, la capa ETH y la capa ETY. La capa ETY es la capa física definida en IEEE 802.3, mientras que la capa ETH representa la capa pura de paquetes. Las tramas de control de acceso Ethernet (MAC) en la capa ETH se transportan como un cliente de la capa ETY. Varios protocolos y funcionalidades definidos dentro de los estándares IEEE se asignan a funciones específicas dentro de la red de capas. En la terminología OSI, ETY es la capa 1, ETH capa 2.

El trabajo relacionado con la sincronización dentro de la ITU-T ha estado en marcha en paralelo con el desarrollo de la arquitectura Ethernet. Expertos de la Comisión de Estudio 15 [13] del ITU-T, encargados de estudiar la sincronización, han estado investigando la necesidad de proporcionar adiciones explícitas a las arquitecturas generales de transporte para apoyar la sincronización. El trabajo inicial se relacionó con servicios de emulación de circuitos (CES) donde un servicio de capa 1 por ejemplo, T1 / E1 se transporta sobre una red de capa 2 por ejemplo, Ethernet. Es un caso importante desde el punto de vista arquitectónico, ya que la sincronización o referencia es una parte distinta del servicio de la capa 1. Sin embargo, debe ser alcanzable a través de una red de paquetes que no transfiere inherentemente sincronización.

Tanto CES como Sync-E son adiciones a los modelos ITU-T existentes. La intención de ambos es no requerir cambios a los protocolos definidos por IEEE ya existentes, sino ampliar y trabajar dentro de estas definiciones de protocolo para proporcionar las funciones en una escala de red. Arquitectónicamente, CES es visto como una capa superior, o cliente, a la red Ethernet, y como tal se define en las funciones de adaptación necesarias. Sin embargo, SyncE no se define como una función, sino que se proporciona una referencia de frecuencia a las funciones actualmente definidas. La figura 3-33 muestra la arquitectura G.8010[21] que representa tanto los aspectos CES como de Synchronous Ethernet con respecto a las capas ETH y ETY definidas en G.8010 [21]. Esta figura muestra las dos capas arquitectónicas de Ethernet, ETH y ETY, junto con funciones de adaptación de nivel superior que representan la asignación y desmapeado de un circuito E1 usando CES con recuperación de reloj diferencial. En este ejemplo, las diversas funciones se agrupan en cuatro elementos de red (NE), como se indica con cuadros de puntos.

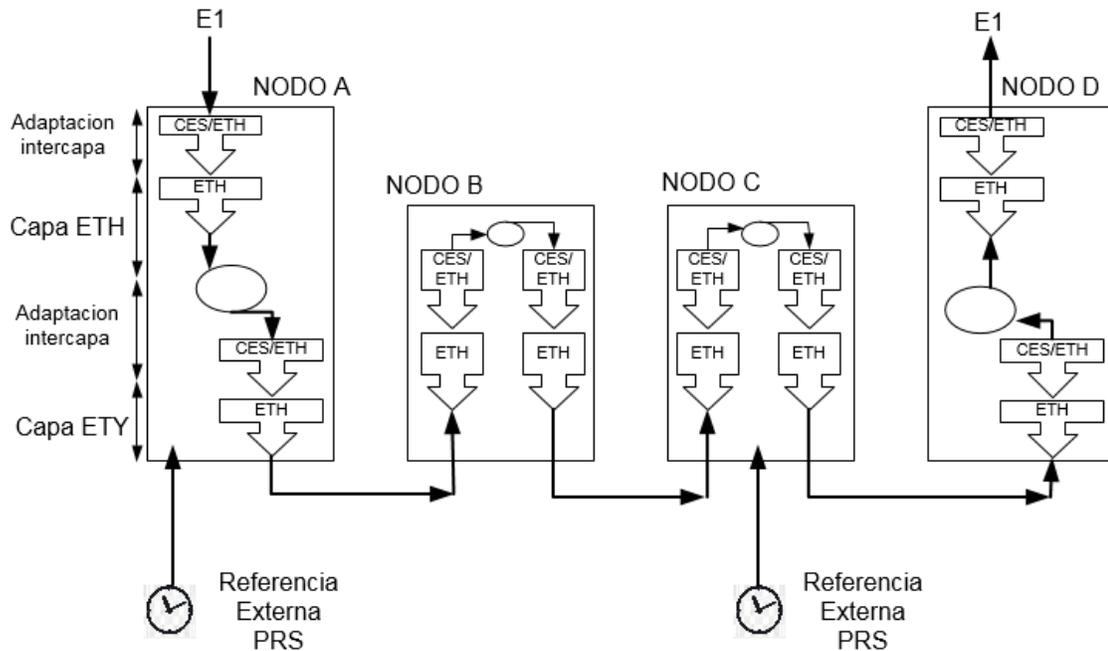


Figura 4-35 Esquema de distribución de reloj SyncE (Fuente: Elaboración propia.)

La sincronización de la red se proporciona a Nodo A y Nodo C a través de interfaces externas. En esos elementos de red no se muestra la red de sincronización que transporta el tiempo entre la fuente de referencia primaria y los NE. Cuando puede resultar poco práctico proporcionar un reloj externo en Nodo D (por ejemplo, debido al coste o cuando el acceso es impracticable), la sincronización con NE_D se proporciona vía SyncE. El enlace entre Nodo C y Nodo D muestra un ejemplo de SyncE. En este caso, el reloj externo en el tercer NE (Nodo C) proporciona la temporización a la capa física (ETY). El cuarto NE (Nodo D) puede entonces recuperar este reloj de la capa física (ETY). En este ejemplo el reloj es utilizado por el NE como una referencia para reconstruir la sincronización E1 llevada por CES. Mientras que la figura es principalmente para mostrar transferencia de frecuencia, el modelo también permite una mayor comprensión de otra funcionalidad relacionada y proporciona un punto de partida para investigar las interacciones de sincronización en frecuencia con otras formas de transferencia de frecuencia y tiempo.

4.4.5 Publicación G8262 [17] “Ethernet Equipment slave clock”.

Esta Recomendación contiene dos opciones para Synchronous Ethernet. La primera, denominada “EEC-Opción 1”, se aplica a los equipos de SyncE concebidos para interactuar con redes optimizadas para la jerarquía 2048-kbit/s. La segunda opción, denominada “EEC-Opción 2”, se aplica a equipos de SyncE diseñados para interactuar con redes optimizadas para la jerarquía 1544-kbit/s. El reloj esclavo de los equipos de SyncE debe cumplir todos los requisitos específicos para una opción y no deben mezclarse los requisitos de las opciones 1 y 2 de EEC. Se pretende armonizar en el futuro las Opciones 1 y 2 de EEC. La finalidad de SyncE es lograr la

interoperabilidad de las actuales redes de sincronización basadas en la recomendación ITU-T G.813 [6]. Se ha de poner especial cuidado en el caso del interfuncionamiento entre las redes de SyncE basadas en EEC-Opción 1 y las redes de SyncE basadas en la EEC-Opción 2.

Algunos elementos de red de SyncE pueden disponer de un reloj de mayor calidad. La recomendación permite el buen funcionamiento de la red cuando la referencia de sincronización proviene de otro equipo SyncE, de un reloj de equipo SDH (SEC) o de un reloj de mayor calidad. Para las redes de SyncE se recomienda la distribución de sincronización jerárquica

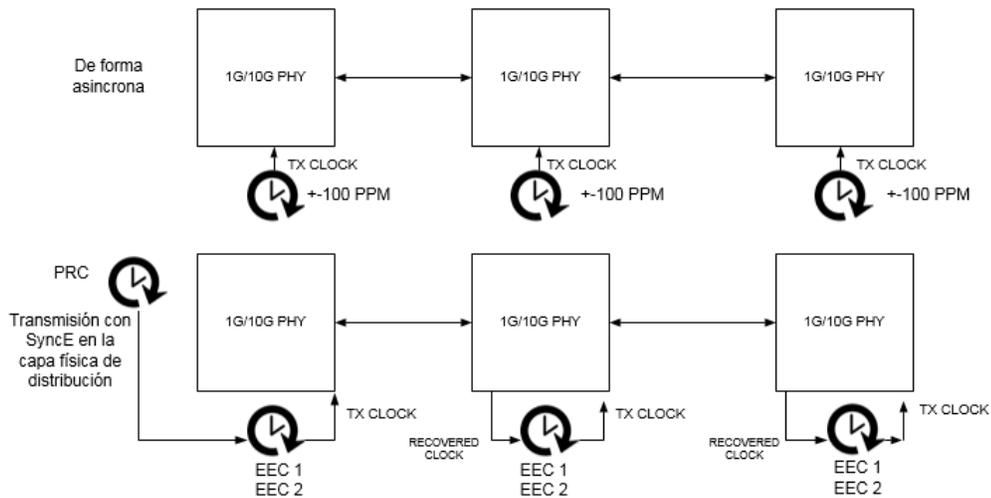


Figura 4-36 Relojes de Synchronous Ethernet (Fuente: Elaboración propia.)

4.4.6 Modos de operación.

Los equipos de SyncE están equipados con un reloj del sistema (por ejemplo, un reloj de equipo Ethernet síncrono (EEC)). Las interfaces síncronas de Ethernet son capaces de extraer el reloj recibido y pasarlo a un reloj del sistema. Este reloj de equipo puede funcionar en varios modos, nivel de calidad (QL) o modos de prioridad, como se especifica en [UIT-T G.781]. Cada interfaz de un equipo Ethernet síncrono puede configurarse para funcionar en modo de funcionamiento no síncrono o síncrono.

- Modo de funcionamiento no síncrónico

Una interfaz Ethernet síncrona configurada en modo no síncrono es una interfaz que, para el lado de recepción, no pasa el reloj recuperado al reloj del sistema y, por lo tanto, no es una referencia candidata al proceso de selección de sincronización. No procesa la ESMC que puede estar presente y por lo tanto no puede extraer el valor QL.

En el lado de transmisión, su frecuencia de salida podría estar sincronizada con la EEC, pero esto permanece desconocido para la interfaz de recepción en la otra terminación del enlace. De hecho,

una interfaz en funcionamiento en modo no sincrónico no genera una ESMC y por lo tanto no transmite una QL.

Dicha interfaz no participa en la red de sincronización y es funcionalmente idéntica a una interfaz asincrónica definida en IEEE 802.3 [14].

- Modo de funcionamiento síncrono:

Una interfaz Ethernet síncrona se puede configurar en modo de operación síncrono. Su lado de recepción es capaz de extraer la frecuencia de su señal de entrada y pasarla a un reloj del sistema (un reloj de calidad EEC o mejor). Procesa la ESMC y extrae la QL, esta señal puede usarse ahora como una referencia de frecuencia candidata.

La parte de transmisión de la interfaz está bloqueada en la temporización de salida del reloj del sistema y genera la ESMC para transportar una QL, y así poder iniciar el proceso de auto negociación. En el caso de que se utilicen estas interfaces para SyncE, se debe considerar la trayectoria de sincronización resultante si se utiliza una distribución de frecuencia basada en SyncE. El reloj maestro debe ser coherente con el plan de sincronización de la red.

Es una opción del operador utilizar una interfaz SyncE como una interfaz de sincronización candidata en ausencia de valores de ESMC y QL. Este uso está bajo la responsabilidad del operador y debe ser estudiado más a fondo.

A modo de resumen en la siguiente tabla se puede ver las tres tecnologías analizadas en este capítulo, la entidad encargada de su estandarización y su aplicabilidad en sincronización.

Tabla 4-4 Tabla resumen de tecnologías.

Tecnologías	Encargado Evolución	Característica
Synchronous Ethernet	ITU-T	Transferencia de frecuencia por capa física.
IEEE1588v2	IEEE	Distribución precisa de tiempo
Network Time Protocol	IETF	Distribución de tiempo.

Discusión y conclusiones

Luego de realizado el estudio se puede concluir que la red TDM que se desplego en la década de los 90 para dar soporte al backhaul existente en ese tiempo en redes 2G también ha sido capaz de mover durante un tiempo el tráfico de 3G. La escalabilidad de estas redes se debía realizar comúnmente en base a enlaces E1/T1, luego el aumento exponencial de usuarios de red de telefonía, hizo que la cantidad de datos que se desea transferir sea mayor cada vez. Las tecnologías existentes no serían capaz de soportar una escalabilidad de estas proporciones debido a varios factores entre ellos el costo que con lleva la escalabilidad sobre tecnologías TDM y el ancho de banda que se necesitaría no se lograría con la infraestructura ya existente.

Una de las características fundamentales de las antiguas redes era que la referencia de sincronización se transmitía por medio de señales físicas de una manera muy precisa. Este proceso o habilidad inherente se pierde con la adopción de un backhaul que transporte paquetes, es por esto que se necesitaría que alguna tecnología supla las necesidades creadas por los operadores de redes móviles. De alguna manera deben coexistir las tecnologías legadas junto a las nuevas arquitecturas de evolución debido a que el cambio si bien se está realizando no puede ser tan radical. El gran desafío presentado fue el cómo transmitir señales de sincronismo en redes basadas en paquetes, es allí donde los protocolos de sincronización entran en juego y en donde Ethernet juega un papel fundamental para las redes de tecnologías móviles

Más aún se ha establecido a Ethernet como la tecnología de transporte, por ser una tecnología óptima por su eficiencia, flexibilidad, alta capacidad, bajo coste, y por ser un estándar universal. Las protocolos de sincronismo utilizados con mayor frecuencia o a los cuales se les presta una mayor atención son 1588v2 y SyncE, si bien el primero está basado en la forma de funcionamiento del protocolo NTP, el cual es la base de funcionamiento dentro de protocolos de sincronismo basados en la transferencia de paquetes. El segundo basado en Ethernet, haciendo uso de ambas capas de este, es capaz de transmitir frecuencia usando la capa física y la capa pura de paquetes. Una de estas tecnologías es capaz de entregar una completa sincronización mientras que otro solo lo hace en frecuencia. Es por este motivo que los operadores deben decidir de qué forma implementar sus redes realizando mezclas de tecnologías con la finalidad de lograr el objetivo que es mantener la red de backhaul sincronizada.

Así según ha evolucionado la red también lo va haciendo su arquitectura y de esta manera sin importar que tecnologías interactúen la cadena de sincronismo entre los nodos no se puede perder. Tan así es la evolución que están teniendo las redes de telecomunicaciones móviles, que en la primera milla de la red de Acceso se están implementando mejoras a niveles de radio para hacer un mejor uso del espectro, en este tipo de despliegue se debe contar con una alta precisión de sincronismo de fase y frecuencia para hacer un correcto uso del espectro.

Todo apunta a que la evolución en algún punto se va a llevar a cabo en su totalidad, esta será una infraestructura completamente digital y en dominio de paquetes de información, pero pasaran años en los que aún se encuentren en transición esto mientras las redes legadas sigan coexistiendo con la red de nueva generación esta forma es como los operadores móviles deben buscar soluciones para obtener redes con las calidades que los estándares dictan y que la calidad de servicio y experiencia de usuario sea óptima.

Bibliografía

- [1] MEF 6.2 EVC Ethernet Services Definitions Phase 3, Agosto 2014.
- [2] Y.1731 : OAM functions and mechanisms for Ethernet based networks, Agosto 2015.
- [3] 802.1ag : Connectivity Fault Management IEEE, 17 Diciembre 2007.
- [4] RFC 198 : Adress allocation for private internets, Febrero 1996.
- [5] IEC 61588 : Precision clock synchronization protocol for networked measurement and control system.
- [6] ITU T G.813 Timming Characteristics of SDH equipment slave clock (SEC).
- [7] ITU T G.8261 Timing and synchronization aspects in packet networks.
- [8] ITU T G.8275 Arquitecture and requirements for packet based time and phase distribution.
- [9] ITU T G.8265 Arquitecture and requirements for packet based frequency distribution.
- [10] ITU T G.8272 Timing characteristics of rprimary referenece time clocks.
- [11] IEEE 1588-2008 Standad for a precision clock synchronization protocol for network measurement and control systems.
- [12] ITU T G.81xx MPLS over transport aspects.
- [13] Grupo de Estudio 15 de la ITU, Redes Tecnologías e Infraestructuras de las redes de transporte.
- [14] IEEE 802.3 IEEE Working group, primera forma de estandarizar ethernet 1983.

- [15] ITU T G.803 Architecture of transport networks based on the synchronous digital hierarchy (SDH).
- [16] ITU T G.812 Timing requirements of slave clocks suitable for use as node clocks in synchronization networks.
- [17] ITU T G.8262 Timing characteristics of a synchronous Ethernet equipment slave clock.
- [18] ITU T G.707 Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH).
- [19] ITU T G.8264 Distribution of timing information through packet networks.
- [20] ITU T G.781 Synchronization layer functions.
- [21] ITU G.8010: Architecture of Ethernet layer networks.
- [22] Metro Ethernet Forum (<https://MEF.net>)
- [23] Internet Engineering Task Force (<https://www.ietf.org/about/>)
- [24] SufNET : PBB-TE and MPLS-TP technical description.