



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

– **TELECOM** ESCUELA
TÉCNICA **VLC** SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de
Telecomunicación

Optimización de infraestructura de transmisión mediante
Seamless MPLS: caso práctico en red de operador

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación

AUTOR/A: Molina López, Jorge

Tutor/a: Romero Martínez, José Oscar

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

*Optimización de infraestructura de transmisión
mediante Seamless MPLS: caso práctico en red de
operador.*

Jorge Molina López

Tutor: José Óscar Martínez Romero

Resumen

En este trabajo se describe el protocolo Seamless MPLS y su aplicación en un proyecto realizado como ingeniero de transmisión en la empresa Arca-Accenture. El objetivo de este proyecto es analizar primero el funcionamiento teórico de este protocolo para finalmente, diseñar e implementar una solución de transición hacia la tecnología Seamless MPLS en la infraestructura de red de operador a nivel nacional.

Se profundizará en la teoría de Seamless MPLS, incluyendo sus características, ventajas y desafíos. Se evaluarán sus beneficios y limitaciones en función de los requisitos específicos de las empresas.

Posteriormente, se presentará el diseño e implementación del proyecto llevado a cabo en la empresa Arca-Accenture. El diseño tendrá dos distintas fases. Una de análisis de la situación actual del equipo y de la topología de la red (salida de TX, túneles MPLS...). La segunda, el diseño de la situación futura con las modificaciones necesarias: cambio en los túneles LSP, nuevo área ISIS, posible cambio en la transmisión del nodo coubicado, modificación de VRFs existentes, etc.

La implementación comenzará con un previo replanteamiento del emplazamiento y finalmente se ejecutará la actualización del equipo, monitorizando en todo momento la red por posibles pérdidas de gestión o tráfico.

Este proyecto demuestra la viabilidad y los beneficios de la implementación del protocolo Seamless MPLS en entornos empresariales. Los resultados obtenidos proporcionan una base sólida para la adopción de esta tecnología en la infraestructura de red de operadores, mejorando la eficiencia, flexibilidad y escalabilidad de sus servicios de red.

Abstract

This work describes the Seamless MPLS protocol and its application in a project carried out as a transmission engineer at the Arca-Accenture company. The objective of this project is to first analyze the theoretical fundamental of this protocol to finally design and implement a transition solution towards Seamless MPLS technology in the operator network infrastructure at a national level.

The theory of Seamless MPLS will be deepened, including its characteristics, advantages and challenges. Its benefits and limitations will be evaluated based on the specific requirements of companies.

Subsequently, the design and implementation of the project carried out in the company Arca-Accenture will be presented. The design will have two distinct phases. An analysis of the current situation of the equipment and the network topology (TX route, MPLS tunnels...). The second, the design of the future situation with the necessary modifications: change in the LSP tunnels, new ISIS area, possible change in the transmission of the co-located node, modification of existing VRFs, etc.

The implementation will begin with a previous reconsideration of the site and finally the equipment update will be executed, monitoring the network at all times for possible loss of management or traffic.

This project demonstrates the feasibility and benefits of implementing the Seamless MPLS protocol in business environments. The results obtained provide a solid foundation for the adoption of this technology in the network infrastructure of operators, improving the efficiency, flexibility and scalability of their network services.

Resum

En aquest treball es descriu el protocol Seamless MPLS i la seua aplicació en un projecte realitzat com a enginyer de transmissió en l'empresa Arca-Accenture. L'objectiu d'aquest projecte és analitzar primer el funcionament teòric d'aquest protocol per a finalment, dissenyar i implementar una solució de transició cap a la tecnologia Seamless MPLS en la infraestructura de xarxa d'operador a nivell nacional.

S'aprofundirà en la teoria de Seamless MPLS, incloent-hi les seues característiques, avantatges i desafiaments. S'avaluaran els seus beneficis i limitacions en funció dels requisits específics de les empreses.

Posteriorment, es presentarà el disseny i implementació del projecte dut a terme en l'empresa Arca-Accenture. El disseny tindrà dues diferents fases. Una d'anàlisi de la situació actual de l'equip i de la topologia de la xarxa (eixida de TX, túnels MPLS...). La segona, el disseny de la situació futura amb les modificacions necessàries: canvi en els túnels LSP, nou àrea ISIS, possible canvi en la transmissió del node, modificació de VRFs existents, etc.

La implementació començarà amb un previ replantejament de l'emplaçament i finalment s'executarà l'actualització de l'equip, monitorant en tot moment la xarxa per possibles pèrdues de gestió o trànsit.

Aquest projecte demostra la viabilitat i els beneficis de la implementació del protocol Seamless MPLS en entorns empresarials. Els resultats obtinguts proporcionen una base sòlida per a l'adopció d'aquesta tecnologia en la infraestructura de xarxa d'operadors, millorant l'eficiència, flexibilitat i escalabilitat dels seus serveis de xarxa.



Índice

Capítulo 1.	Objetivos	1
Capítulo 2.	Introducción protocolo MPLS.....	2
2.1	Elementos Redes MPLS.....	3
Capítulo 3.	Retos redes actuales	5
Capítulo 4.	Ventajas Seamless MPLS sobre TR 101	7
Capítulo 5.	Despliegue de Seamless MPLS.....	9
Capítulo 6.	Aplicaciones de Seamless MPLS.....	11
6.1	Despliegue de servicios mayoristas flexibles.....	11
6.2	Conectividad inter-metro de empresas con líneas privadas	11
6.3	Migración gradual de servicios ATM	12
Capítulo 7.	QoS Seamless MPLS	13
7.1	Throughput.....	14
7.2	Latencia.....	15
7.3	Pérdida de paquetes.....	16
7.4	Jitter.....	17
Capítulo 8.	Configuración de paso a Seamless MPLS.....	19
8.1	Descripción de ATN910C-B.....	19
8.2	Situación actual de la transmisión del equipo	21
8.2.1	Nodo afectado	22
8.2.2	Interfaces Actuales	25
8.2.3	Tablas VRF y Túneles LSP.....	27
Capítulo 9.	Implementación Paso a Seamless MPLS	28
9.1	Nuevos interfaces	28
9.2	Actualización tablas VRF y nuevos túneles	30
9.3	Monitorización del trabajo	32
Capítulo 10.	Conclusiones	33
Capítulo 11.	Trabajos Futuros tras paso a Seamless	34
Capítulo 12.	Bibliografía.....	35



Índice de Figuras

Figura 1. Ejemplo red MPLS con sus elementos.	2
Figura 2. Caso de uso de RSVP-TE.	4
Figura 3. Esquema de desagregación de bucle local.	5
Figura 4. Modelo de red Seamless 7	7
Figura 5. Comparación de despliegue inter-operadores entre TR101 y Seamless 8	8
Figura 6. Comparación de despliegue de líneas privadas inter-metro entre TR101 y Seamless... 8	8
Figura 7. Ruta de red Seamless MPLS de un despliegue basado en áreas..... 9	9
Figura 8. Ejemplo de reenvío de etiquetas basado en LDP para una instancia Seamless MPLS.. 9	9
Figura 9. Ejemplo de distribución de etiquetas/rutas en un escenario inter-AS..... 10	10
Figura 10. Despliegue de un servicio de mayorista flexible 11	11
Figura 11. Despliegue de H-VPLS..... 12	12
Figura 12. Escenario de migración gradual de servicios ATM..... 12	12
Figura 13. Topología ejemplo para comparación de QoS MPLS vs Seamless MPLS..... 13	13
Figura 14. Ejemplo de output de RTT mediante NQA 14	14
Figura 15. Gráfico de throughput para escenarios MPLS vs SMPLS..... 15	15
Figura 16. Ejemplo de output de delay con ICMP mediante NQA..... 15	15
Figura 17. Gráfica de latencia para escenarios MPLS vs SMPLS 16	16
Figura 18. Ejemplo de output en caso de pérdida de paquetes..... 16	16
Figura 19. Gráfica de pérdida de paquetes para escenarios MPLS vs SMPLS 17	17
Figura 20. Ejemplo de output para obtención de Jitter..... 18	18
Figura 21. Gráfica de jitter para escenarios MPLS vs SMPLS 18	18
Figura 22. Equipo ATN910C-B, con descripción de interfaces..... 19	19
Figura 23. Layout ATN910C-B, captura de gestor 19	19
Figura 24. Escenarios de uso de ATN910C series. 20	20
Figura 25. Modelo BBU5900 de Huawei..... 22	22
Figura 26. Bastidor de VALX1291 23	23
Figura 27. Portadoras radiando en la estación base VALX1291..... 24	24
Figura 28. Módulos SFP existentes en VX1291RT1 previos..... 25	25
Figura 29. Configuración interfaz y subinterfaces de VX1291RT1 para el nodo VALX1291 previa..... 25	25
Figura 30. Configuración interfaces de salida de transmisión previa. 26	26
Figura 31. Definición de VRFs de VX1291RT1 previa..... 27	27
Figura 32. Tunnel-policy de VX1291RT1 previa 27	27



Figura 33. Interfaces para túneles de VX1291RT1 previos	27
Figura 34. Módulos SFP existentes en VX1291RT1	28
Figura 35. Configuración interfaz y subinterfaces de VX1291RT1 para el nodo VALX1291 ...	28
Figura 36. Configuración interfaces de salida de transmisión.	29
Figura 37. Definición de VRFs de VX1291RT1.....	30
Figura 38. Definición de VRFs de VX1291RT1.....	30
Figura 39. Tunnel-policy de VX1291RT1	31
Figura 40. Topologías túnel LSP de VX1291RT1	31
Figura 41. Latencia previa y posterior al paso a Seamless de VX1291RT1	32



Índice de Tablas

Tabla 1. Troughput para MPLS vs SMPLS para distintos tamaños de archivo	14
Tabla 2. Valores medios de latencia de MPLS vs SMPLS para distintos tamaños de archivo...	16
Tabla 3. Valores de pérdida de paquetes de MPLS vs SMPLS.....	17
Tabla 4. Diseño tarjetería incluida en BBU5900 de VALX1291	22
Tabla 5. Correspondencia letra con banda	23
Tabla 6. Ruta principal túnel LSP de VX1291RT1.....	31
Tabla 7. Ruta de protección túnel LSP de VX1291RT1	32



Abreviaturas

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
5G NR	5G New Radio
AD BGP	Auto-Discovery BGP
AGG	Aggregation Node
AN	Access Node
ARB	Area Border Route
AS	Autonomous System
ASBR	Autonomous System Border Route
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BBIP	Back Bone IP
BBU	Base Band Unit
BGP	Border Gateway Protocol
BGP-LU	BGP - Label Unicast
BSC	Base Station Controller
CE	Customer Edge
DoD	Downstream on Demand
DSLAMS	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DSS	Dynamic Spectrum Sharing
DU	Downstream Unsolicited
EBGP	External Border Gateway Protocol
ETH	Ethernet
FEC	Forwarding Equivalence Class
FTP	File Transfer Protocol
FTTN	Fiber to the Home
GSM	Global System for Mobile Communications
H-VPLS	Hierarchical VPLS
ICMP	Internet Control Message Protocol
IGP	Internal BGP
IP	Internet Protocol
IS-IS	Intermediate System to Intermediate System
LDP	Label Distribution Protocol
LSP	Label Switched Path
LSR	Label Switching Routers
LTE	Long Term Evolution
MAN	Metropolitan Area Networks
MPLS	Multi-Protocol Label Switch
O&M	Operations and Maintenance
OSPF	Open Shortest Path First
PE	Provider Edge
POP	Point of Presence
PW	PseudoWire



QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
RNC	Radio Network Controller
RRU	Radio Remote Unit
RSVP-TE	Resource Reservation Protocol - Traffic Engineering
SFP	Small Form Factor Pluggable
SMPLS	Seamless Multi-Protocol Label Switch
TCP	Transmission Control Protocol
TDD	Time Division Duplex
TX	Transsmision
ULL	Unbundle Local Loop
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UPE	User-facing PE
VLAN	Virtual Local Area Network
VPLS	Virtual Private LAN Service
VRF	Virtual Routing and Forwarding
WTTx	Wireless Transmission to X



Capítulo 1. Objetivos

A continuación, se describirán los objetivos a desarrollar en este trabajo:

En primer lugar, vamos a realizar una descripción sobre la arquitectura de una red con protocolo Seamless MPLS end-to-end, además de una profunda comparación de operación y rendimiento con una solución de red con MPLS convencional. Con ello, veremos ciertas ventajas de esta arquitectura y la soluciones a varios retos de las redes actuales.

Además de realizar esa comparación teórica, se llevará a cabo una revisión de simulaciones realizadas en otro proyecto, con el fin de explorar el rendimiento del protocolo Seamless MPLS en cuanto a la calidad de servicio de una red; atendiendo a los distintos parámetros de QoS.

Posteriormente, daremos paso al diseño e implementación de un trabajo de un paso a Seamless de un equipo (realizado en la Arca-Accenture). Para ello, desarrollaremos la situación actual de la transmisión del equipo implicado, así como del tráfico afectado por el trabajo. Tras esto, procederemos a describir las modificaciones necesarias sobre la configuración y transmisión del equipo, como por ejemplo en las VRF, en los túneles LSP, área ISIS, etc.

Con la implementación de este trabajo práctico podremos comparar la configuración de los equipos con MPLS convencional (situación actual), con la misma tras los cambios para su paso a Seamless.

En general, en este documento se realizará una revisión sobre la teoría de la arquitectura SMPLS, se destacarán ventajas para las redes de próximas generaciones, se indicará su mejora en cuanto a QoS para los usuarios finales y finalmente se describirá un trabajo práctico con un ejemplo real realizado para un operador nacional.

Capítulo 2. Introducción protocolo MPLS

Un paquete de cualquier protocolo de capa de red viaja entre routers, utilizando esta información contenida en el encabezado para ejecutar un algoritmo de enrutamiento. Este análisis de la cabecera del paquete pasa por dividir el conjunto de paquetes posibles en “Forwarding Equivalence Classes (FECs)”. El siguiente paso simplemente consistiría en asignar cada FEC a un próximo salto. Todos los paquetes que tengan este parámetro igual, serán enrutados por la misma ruta, sin importar el resto del contenido de la unidad de información.

Un ejemplo del uso de esta manera de actuar es el protocolo IP. En el enrutamiento de un paquete IP convencional, los routers que forman parte de la red consideran que dos paquetes están dentro del mismo FEC atendiendo al prefijo de dirección X en sus tablas de enrutamiento. Esta dirección se reexamina relacionándola con las tablas en cada router por el que pasa el paquete.

En cuanto al protocolo MPLS (“Multiprotocol Label Switching”), los routers realizan la asignación de un paquete a un FEC una sola vez, en el momento en el que éste entra en la red. Esta asignación se codifica como un valor corto de longitud fija, el cual llamamos *etiqueta*. Y esta etiqueta se envía junto a él durante todos los reenvíos. La ventaja del protocolo es que en los distintos saltos dentro de la red MPLS, no será necesario el análisis de la cabecera de la capa de red del paquete; simplemente en cada uno de ellos la etiqueta se usa como un índice en una tabla que especifica el siguiente salto. Tras esto, la etiqueta anterior se reemplaza con la nueva y el paquete se reenvía hacia su siguiente salto, y así sucesivamente.

Otras de las ventajas de este protocolo de enrutamiento por etiquetas es que la asignación del FEC (al ingresar en la red) no tiene por qué depender de la información que contenga la cabecera de los paquetes, al contrario de los protocolos de enrutamiento tradicionales. En este caso, esta asignación puede depender, por ejemplo, del puerto del router o incluso del router en sí mismo por el cual ha accedido a la red, etc. [1] [2]

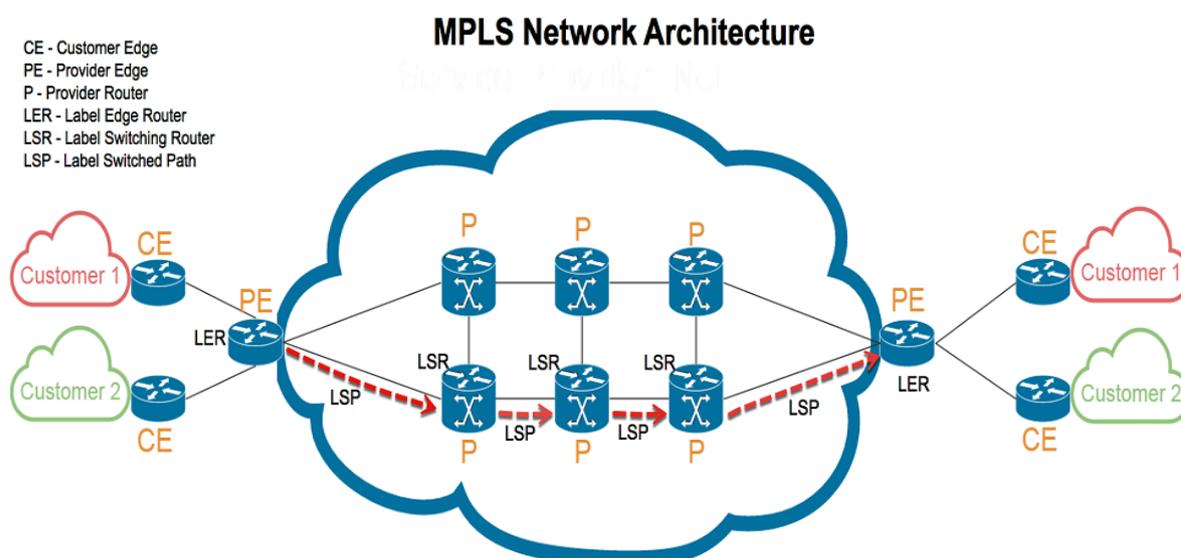


Figura 1. Ejemplo red MPLS con sus elementos.

2.1 Elementos Redes MPLS

-LSR (“Label Switching Routers”): son los encargados de la conmutación de etiquetas y de enrutamiento de los paquetes de datos en una red MPLS. Estos routers utilizan las tablas de etiquetas llamadas FIB (“Forwarding Information Base”) para asignar una ruta y determina el reenvío de los paquetes. Estas tablas también contienen la información necesaria sobre los “Next hops”, así como de las etiquetas de entrada y salida asociada.

Además, los LSR también desempeñan otras funciones esenciales en la red. Realizan la gestión de las FIB, las cuales van siendo actualizadas para una mayor eficiencia en el enrutamiento. También realizan un seguimiento del estado de los LSP (descritos a continuación), lo que implica monitorear la disponibilidad de cada uno de los nexthops y realizar actualizaciones dinámicas en los caminos de la red cuando ocurren modificaciones en la topología de la red.

-LSP (“Label Switched Path”): rutas establecidas a través de la red MPLS por las que se realiza el transporte de paquetes entre dos LSR. El establecimiento de un LSP implica primero la asignación y posterior distribución de etiquetas a lo largo de toda su ruta. Los protocolos normalmente utilizados para esas tareas es el LDP (“Label Distribution Protocol”) y RSVP-TE (“Resource Reservation Protocol-Traffic Engineering”) descritos posteriormente. Estos LSP son capaces de proporcionar mecanismos para la garantía de calidad de servicio (QoS) adecuada para el tráfico de la red MPLS.

-LDP (Label Distribution Protocol): protocolo que se utiliza para la distribución y asignación de etiquetas MPLS entre los distintos LSR. El objetivo principal es el establecimiento y mantenimiento de las tablas de etiquetas en todos los routers, para permitir la conmutación de paquetes entre éstos.

Se distinguen dos modos principales de operación del protocolo LDP: el modo de distribución basado en control de enrutamiento (“downstream-on-demand”) y basado en enrutamiento independiente (“independent control”).

Esta distribución se logra mediante mensajes de control enviados entre LSRs para acordar el mapeo de etiquetas necesario. Mediante este método, se descubren relaciones de vecindad entre los nodos para mantener sincronizadas las tablas de etiquetas.

-RSVP-TE (Resource Reservation Protocol - Traffic Engineering): utilizado para el enrutamiento y la reserva de recursos, en escenarios que requieren ingeniería de tráfico y calidad de servicio (QoS) avanzada. Permite establecer caminos LSP basados en restricciones de recursos, como ancho de banda, retardo o pérdida de paquetes. Esto consigue un enrutamiento óptimo para satisfacer los requisitos de rendimiento y QoS de las aplicaciones.

Además, brinda la posibilidad de reservar recursos a lo largo del camino del LSP para garantizar que se cumplan los requisitos. Los LSR envían mensajes de reserva de recursos a lo largo del camino del LSP para coordinar la asignación y reserva de recursos a medida que el LSP se establece.

RSVP-TE proporciona mecanismos para el ajuste y la optimización del tráfico en la red MPLS. Esto incluye la capacidad de redireccionar el tráfico en tiempo real, establecer políticas de priorización y equilibrio de carga, así como realizar ajustes dinámicos en los caminos LSP para adaptarse a cambios en las condiciones de la red. Se integra con los protocolos de enrutamiento tradicionales, como OSPF (Open Shortest Path First) o IS-IS (Intermediate System to Intermediate System). Esto permite que RSVP-TE utilice la información de enrutamiento existente para calcular y establecer los caminos LSP adecuados. [1] [2]

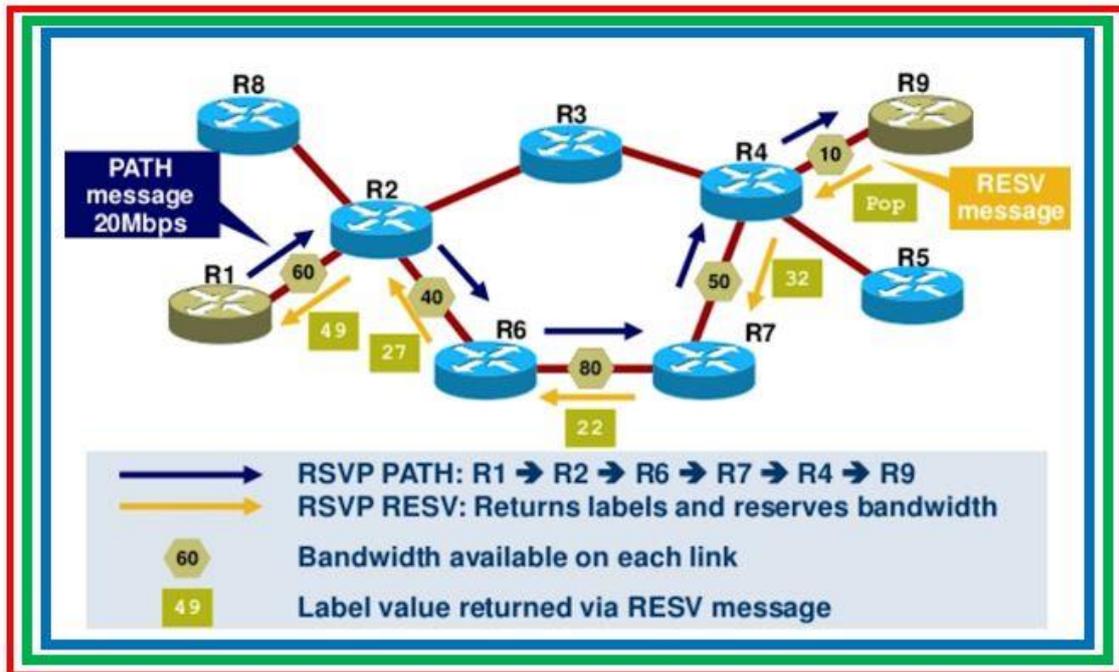


Figura 2. Caso de uso de RSVP-TE.

En la Figura 2 podemos ver un caso práctico de uso de RSVP-TE, en el que vemos como en cada salto dentro de la red MPLS se asigna una etiqueta distinta y se reserva el ancho de banda necesario.

Capítulo 3. Retos redes actuales

Con la aplicación del protocolo MPLS descrito anteriormente, las operadoras establecen MANs (“Metropolis Area Networks”) y redes de backbone para el transporte de los servicios integrados, mediante el uso de soluciones “MPLS-based L3VPN/L2VPN”. Generalmente, estas redes identifican a los servicios y a los usuarios mediante 802.1Q o 802.1ad entre dispositivos de las distintas redes. Esta comunicación requiere de configuración estática de interfaces entre cada capa.

Por su parte, en las redes Seamless, el enrutado end-to-end IP/MPLS de todos los dispositivos gestionados por las operadoras esta realizado. De esta manera, eliminamos estos interfaces 802.1Q o 802.1ad entre cada capa y conseguimos una implementación una interacción mucho más dinámica, a la que se le llama “end-to-end big networking”.

El soporte que actualmente tienen la mayoría de las redes es la arquitectura TR101, la cual hace uso de la convergencia de redes Metro Ethernet (como QinQ), MPLS y L3 híbrido. Sin embargo, con el continuo desarrollo de los requerimientos de acceso, las operadoras de red necesitan hacer frente a ciertos retos:

-El mantenimiento la desagregación del bucle local (ULL: *Unbundle Local Loop*). Esta desagregación es el proceso regulatorio que permite que múltiples operadoras de red la prestación de servicios (de operadoras titulares) mediante el uso de conexiones que enlazan las centrales telefónicas con las instalaciones de los clientes. [3]

La complejidad de este mantenimiento radica en los escenarios en los que el punto concentrador de tráfico (POP) de las diferentes operadoras implicadas varía en una red. Los nodos de acceso necesitan una capacidad de conexión más flexible, de manera que sean capaces de identificar operadores, servicios y usuarios alternativos. Para la arquitectura TR101, con un escenario típico de MPLS metro, la planificación de VLAN se vuelve muy complicada. Esto es porque debe ser configurada en muchos nodos: el nodo de acceso, el nodo de usuario (“UPE: user-facing PE”) y el nodo de agregación de cada uno de las operadoras implicadas en el caso de que los POP (de cada operadora no esté en la misma MAN).

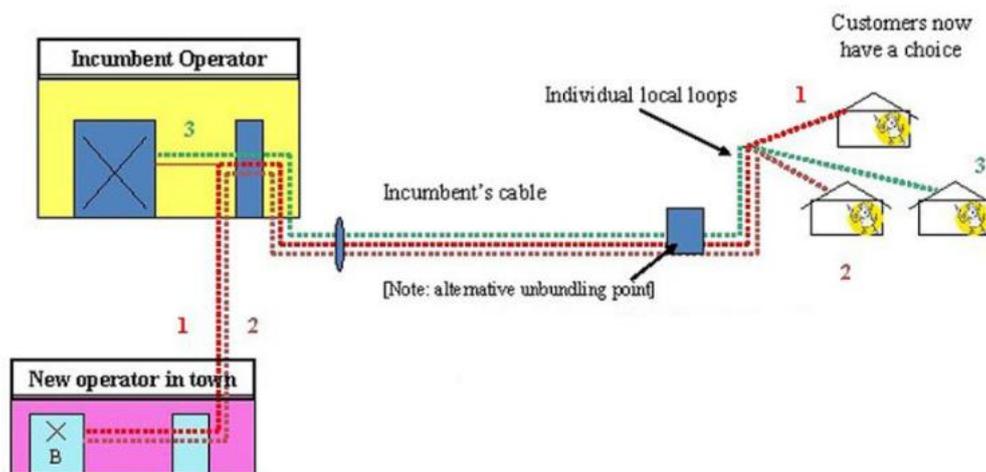


Figura 3. Esquema de desagregación de bucle local.

-La conectividad inter-metro de empresas con líneas privadas. Requieren de configuración multipunto estáticas. Estas conexiones se están desarrollando rápidamente y necesitan una gran cooperación entre las entidades de gestión de cada capa.



-El avance hacia una red común fija y móvil *Fixed-Mobile Convergence (FMC)*, en la que el nodo de acceso tiene que tener una accesibilidad mayor en la red. El objetivo final del FMC es optimizar la transmisión de todas las comunicaciones tanto de datos como audiovisuales, para una mejor experiencia entre los usuarios finales independientemente de dónde se ubiquen o que dispositivo utilicen.

En general, en la arquitectura TR101, las tecnologías de red de cada capa no están unificadas. La interoperabilidad es clave para los retos descritos anteriormente, los cuales son imprescindibles de vencer para conseguir una red de 5G rápida y de baja latencia, difícil lograr sin un estándar maduro.

Capítulo 4. Ventajas Seamless MPLS sobre TR 101

Mediante una arquitectura Seamless MPLS, la red completa utiliza una única tecnología IP/MPLS, con un plano de control end-to-end. Por tanto, la interfaz que genera entre el nodo de acceso y la red de agregación red Ethernet (la cual provoca los problemas de interoperabilidad anteriores) desaparece. Con este esquema, las distintas operadoras pueden hacer frente a los requerimientos de flexibilidad, de manera que los servicios se prestan con facilidad. Además, esta mejora en la escalabilidad de la red provoca que se puedan desplegar nuevos servicios de manera rápida y con menor coste, reforzando la competitividad entre las operadoras de red.

Este modelo de red permite que todos los servicios pueden ser transferidos desde los puntos de acceso hasta los puntos de procesamiento de datos mediante MPLS. Es una solución simple y consistente, en la que la capacidad del establecimiento del túnel end-to-end MPLS es dinámica, dependiendo de los requerimientos. En la Figura 3 podemos ver como cada elemento de la red (de la parte de acceso, de la red de agregación y por último de la red troncal) forma parte de este túnel MPLS.

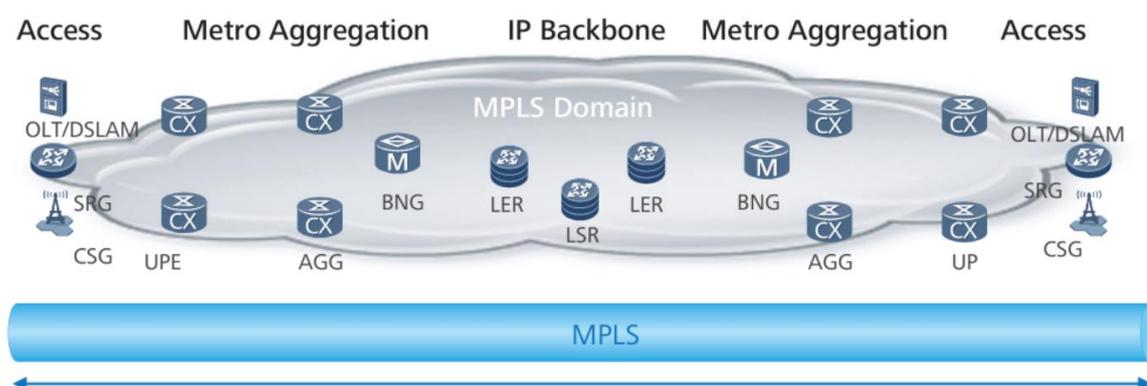


Figura 4. Modelo de red Seamless

Tal y como hemos indicado anteriormente en el párrafo sobre la desagregación del bucle local, la red tiene que ser simple y flexible, de manera que todos los servicios puedan ser entregados entre operadores competidores en cualquier punto. A través de estos túneles MPLS end-to-end entre nodos de acceso (AN) y puntos de transferencia de servicios, la arquitectura Seamless consigue estos requerimientos de flexibilidad.

En ciertas ocasiones, el operador competidor necesita diferenciar los usuarios y servicios a través de las etiquetas VLAN de capa 2. Para esto, el operador titular necesita identificar al competidor, así como también sus usuarios en el nodo de acceso. En el caso de la arquitectura TR101, la política de distribución de las etiquetas tiene que ser planeada con su complejidad adicional. Si por el contrario tenemos arquitectura Seamless, el "Pseudo Wire"(PW) identifica a los diferentes operadores competidores de manera mucho más sencilla y rápida (ver Figura 5)

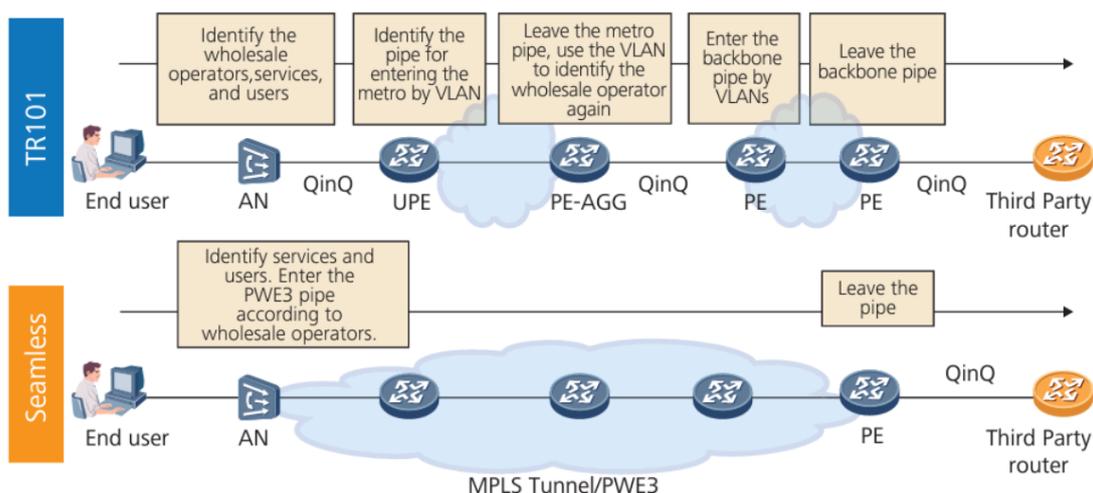


Figura 5. Comparación de despliegue inter-operadores entre TR101 y Seamless

También se ha comentado anteriormente la importancia actual del despliegue de servicios privados inter-MAN entre empresas. Estos servicios Ethernet privados son requeridos entre distintas áreas metropolitanas. Para la arquitectura TR101, múltiples nodos (AN, Metro UPE, PE-AGG, backbone PE...) tienen que ser configurados entre los inter-metro DSLAMS (“Digital Subscriber Line Access Multiplexer”). Por su parte en las redes Seamless, únicamente es necesario configurar ambos AN (de cada extremo) con el PWE3 dinámico para proveer de estos servicios de línea privada (comparación entre ambos modelos en la Figura 6)

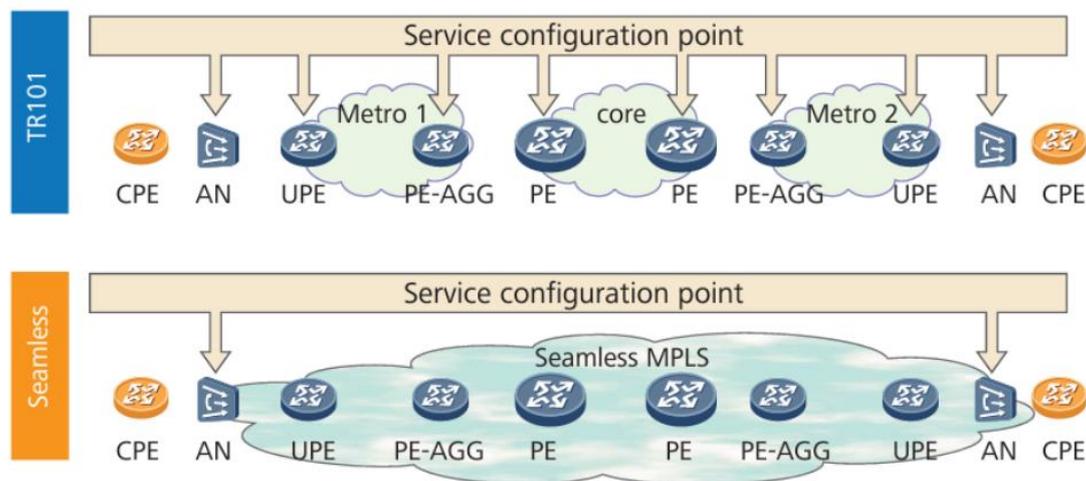


Figura 6. Comparación de despliegue de líneas privadas inter-metro entre TR101 y Seamless

Además, las redes Seamless basadas en IP/MPLS implementan fácilmente una protección end-to-end entre las fiable y madura tecnología IP/MPLS y su mantenimiento, operación y administración (OAM). De esta manera, se consigue una interoperabilidad entre dispositivos de distintos vendedores excelente. En la arquitectura TR101, por su parte, esta protección requeriría de cooperación entre IP/MPLS y Ethernet con la tecnología OAM, con un despliegue complejo y con posibles fallos. [5] [6] [7]

Capítulo 5. Despliegue de Seamless MPLS

El despliegue de la red Seamless MPLS se hace en un modo basado en áreas, donde todos los elementos de la red pertenecen a un AS (“Autonomous System”). Dentro de estos sistemas, todos los nodos intercambian la información de las distintas rutas mediante el protocolo IGP (“Interior Gateway Protocol”), a través de los protocolos OSPF (“Open Shortest Path Find”) y ISIS (“Intermediate System to Intermediate System”). Los elementos de cada área metropolitana están divididos en distintas áreas IGP. La red troncal IP, asignada como área ISIS de nivel 2, tiene que asegurar que el número de nodos de estos AS son los apropiados, sin que el nodo de acceso necesite soportar el protocolo IGP dinámico (enrutado estáticamente).

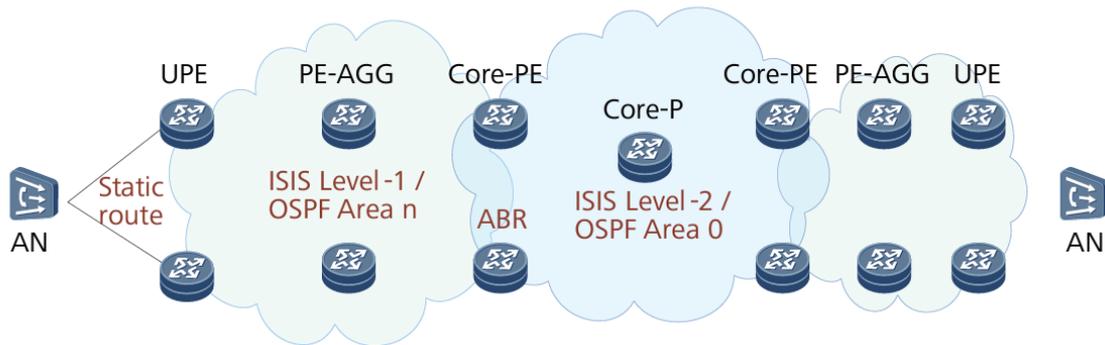


Figura 7. Ruta de red Seamless MPLS de un despliegue basado en áreas.

Fijándonos en la Figura 6, el elemento ABR (“Area Border Router”) perteneciente al área ISIS de nivel 2, converge las rutas de cada área y las anuncia entre ellas, reduciendo así los requerimientos de cada una de las tablas de enrutamiento de los elementos de la red. Además, es útil a la hora de aislar posibles errores inter-área y habilitar rápidamente una convergencia de rutas.

En la Figura 8 podemos ver un ejemplo de reenvío de etiquetas basado en LDP para una instancia Seamless MPLS:

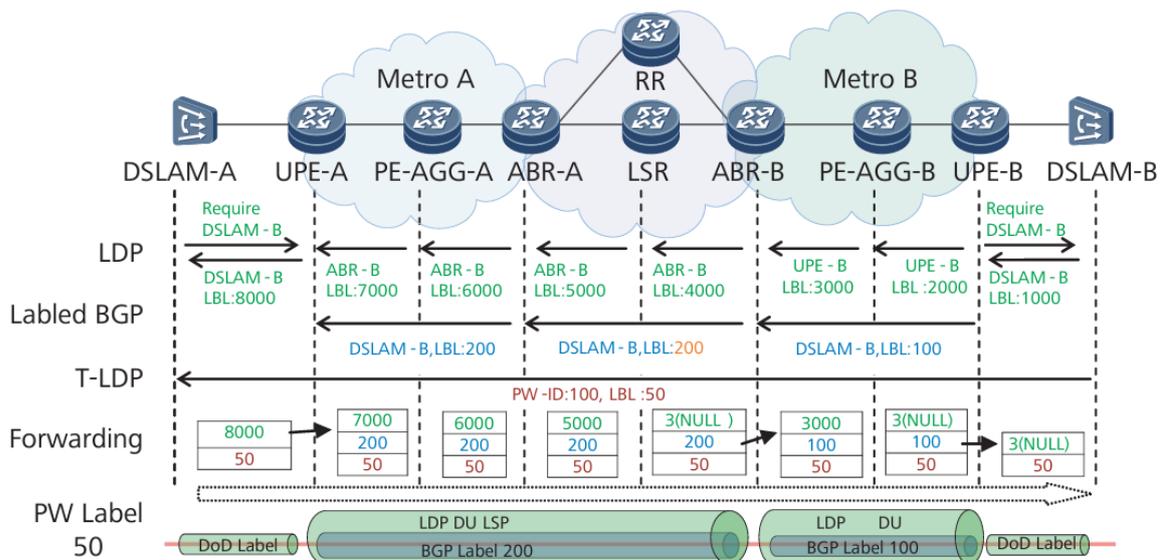


Figura 8. Ejemplo de reenvío de etiquetas basado en LDP para una instancia Seamless MPLS

En este ejemplo vemos como la etiqueta del pseudo-cable (“PW”) se asigna directamente entre la sesión Targeted-LDP entre el DSLAM A y el DSLAM B. Los 4 segmentos de la comunicación de este túnel LSP serían:

-**Comunicación LDP bajo demanda (LDP DoD) entre DSLAM A y UPE A**, en la cual el DSLAM A le pide la etiqueta del DSLAM B. Atendiendo a su propia tabla BGP, el UPE A la busca para asignar la etiqueta LDP y establecer la conexión entre ellos.

-**Túnel de dos capas entre UPE A y ABR B**: la capa externa del túnel se establece entre ambos elementos mediante LDP no solicitado (LDP DU). Por su parte, la interna contiene el túnel distribuido hasta el DSLAM-B a través de BFP por el UPE A y ABR B. Las etiquetas de la capa externa, como se ve en la imagen, cambian en cada salto; mientras que las de la capa interna son invisibles entre ambos elementos y no se modifican.

-**Túnel de dos capas entre ABR B y UPE B**: similar al túnel anterior, con sus dos mismo elementos.

-**Comunicación LDP Dod entre UPE B y DSLAM B**, obtenida por la solicitud del del UPE B de manera estática.

Esta solución descrita reduce el número de routers y asignación de etiquetas necesario, aumentando enormemente la escalabilidad de la red.

Cabe destacar que a lo largo de este capítulo se ha tenido en cuenta que todas las áreas de la red pertenecen al mismo AS. En caso de tener varios sistemas autónomos, el protocolo IGP es independientemente desplegado en cada AS, mientras que para la comunicación inter-AS se utiliza External-BGP (EBGP). Cuando EBGP anuncia la información de las rutas, éstas convergen, por lo que el número de camino se reduce. Mientras tanto, la implementación en los nodos de acceso sigue manteniéndose estática.

La distribución de etiquetas es similar a la descrita para la red basada en áreas, se utiliza LDP DU en el dominio del mismo AS, mientras que, por su parte, se hace uso de LDP DoD entre el AN y el UPE. El ASBR (“Autonomous System Border Router”) envía las etiquetas de manera bidireccional con las operaciones de Next-Hop Self (“NH Self”) y estas etiquetas se reasignan localmente. [5] [6] [7]

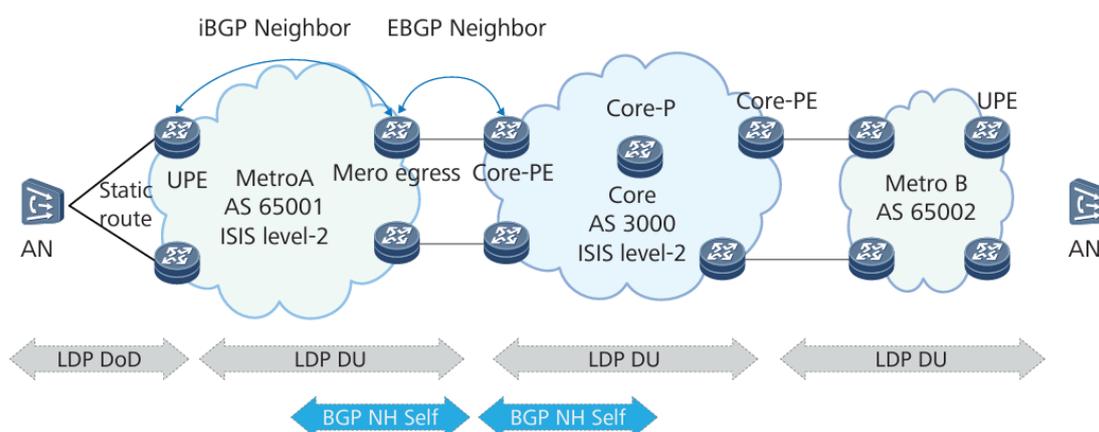


Figura 9. Ejemplo de distribución de etiquetas/rutas en un escenario inter-AS

Capítulo 6. Aplicaciones de Seamless MPLS

6.1 Despliegue de servicios mayoristas flexibles

En el punto 2 comentábamos ciertos retos de las redes actuales. En cuanto al problema del mantenimiento de desagregación del bucle local en escenarios en los que los POP de los operadores competidores estén en ubicaciones distintas, Seamless MPLS facilita la solución.

En el caso de la Figura 10, los distintos puntos de transferencia están varían según el operador. Con la arquitectura Seamless, el nodo de acceso es capaz de establecer la conexión de PW con estos puntos y ser percibido por los dispositivos intermedios. Atendiendo a los requisitos de los operadores, la ubicación y las etiquetas de cada servicio se pueden identificar en los propio AN. Las VLAN de distintos operadores pueden solaparse sin que se produzca ningún tipo de cuello de botella por el número usuarios.

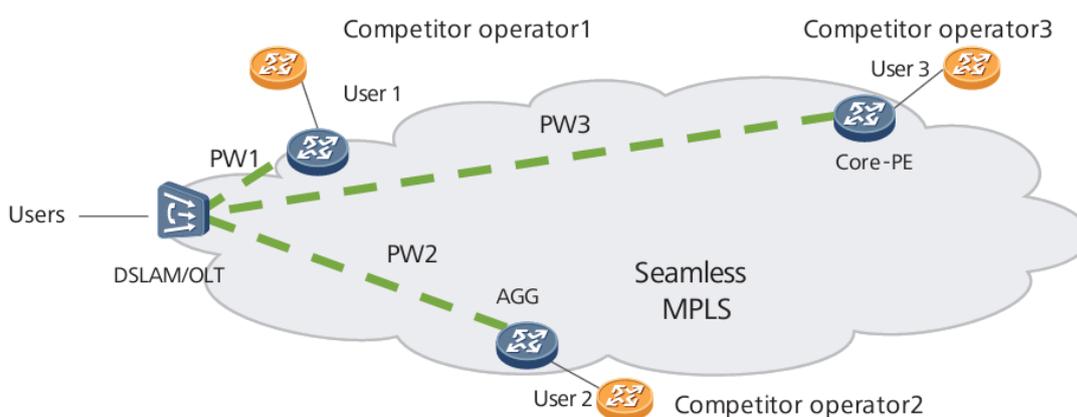


Figura 10. Despliegue de un servicio de mayorista flexible

6.2 Conectividad inter-metro de empresas con líneas privadas

La conectividad inter-metro de empresas con líneas privadas es otro de los retos comentados anteriormente. En una arquitectura Seamless MPLS, el servicio VPLS (“Virtual Private LAN Service”) se puede desplegar a través de toda la red sin ninguna restricción de VLAN. Este despliegue se hace de manera jerárquica (H-VPLS: “hierarchical VPLS”), evitando problemas relacionados con las conexiones de vecinos y la eficiencia de reenvío.

El núcleo de la red H-VPLS se define entre los ABRs, y los UPE forman la red de agregación, por la cual acceden los ABR por PWs, todo en capa 3. Los DSLAM acceden al UPE por PW, y éste conecta directamente con el equipamiento de cliente o CPE (“Customer premises equipment”) mediante Ethernet/VLAN. En esta arquitectura de capa 3, el número de PWs que convergen en cada capa está limitado, si por ejemplo 100 DSLAMs acceden a cada UPE y 20 UPEs acceden a cada ABR, la presión sobre este último puede ser demasiado alta. Por esto se aboga por que la topología de los PW se acerca a la topología real, evitando solapamiento de PW para el mismo link y mejorando la eficiencia del tráfico.

Para reducir la carga por añadir nuevos puntos de acceso de la instancia VPLS y mejorar su despliegue, se puede implementar AD BGP (“Auto-Discovery BGP”) dentro de la capa de agregación (UPEs) y la troncal (ABRs) de la red H-VPLS. Estos nuevos puntos se procesarían entre los DSLAM y los UPE de manera estática.

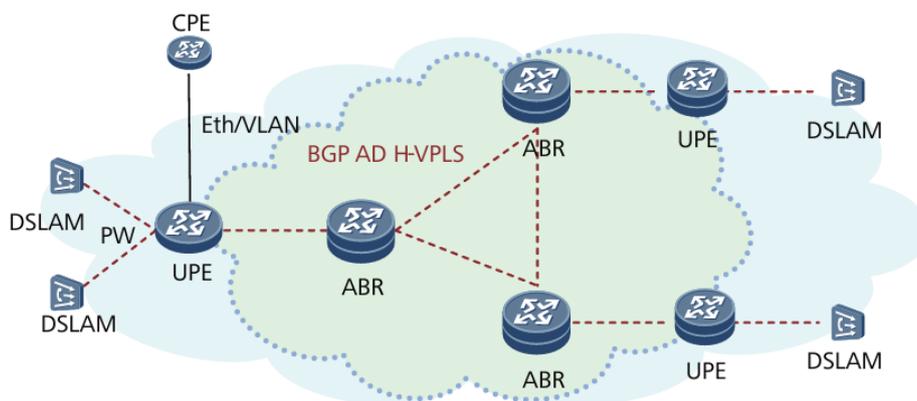


Figura 11. Despliegue de H-VPLS.

6.3 Migración gradual de servicios ATM

Actualmente en las redes de la mayoría de operadoras, los DSLAM ATM tienen mucha aplicación para el acceso de usuario y de líneas privadas para empresas. Sin embargo, la migración de la red de agregación ATM es totalmente necesaria, debido a la cantidad de nodos de acceso existentes. Los operadores no pueden hacer frente a un cambio de todos los DSLAMs ATM a DSLAMs IP a la vez, debe de hacerse de manera gradual. Debido a esto, existe en la red una convivencia de ambos DSLAM en las mismas redes.

En la arquitectura Seamless MPLS, los DSLAMs IP son capaces de brindar servicios a su externo correspondiente a través de PWE3 (“Pseudo Wire Edge to edge”), sin enlaces ATM intermedios.

Para un usuario cualquiera, si el BRAS (“Broadband remote access server”) todavía se encuentra en la interfaz ATM, la red de agregación ATM original se puede implementar a través del PWE3 entre el DSLAM IP y el nodo AGG. Para líneas privadas para empresas este ATM PWE3 se puede establecer también directa y transparentemente entre los DSLAMs IP para transmitir servicios ATM. En la Figura 12 vemos como sería este escenario de migración de los servicios ATM para ambos caso, usuarios y empresas. [5] [6] [7]

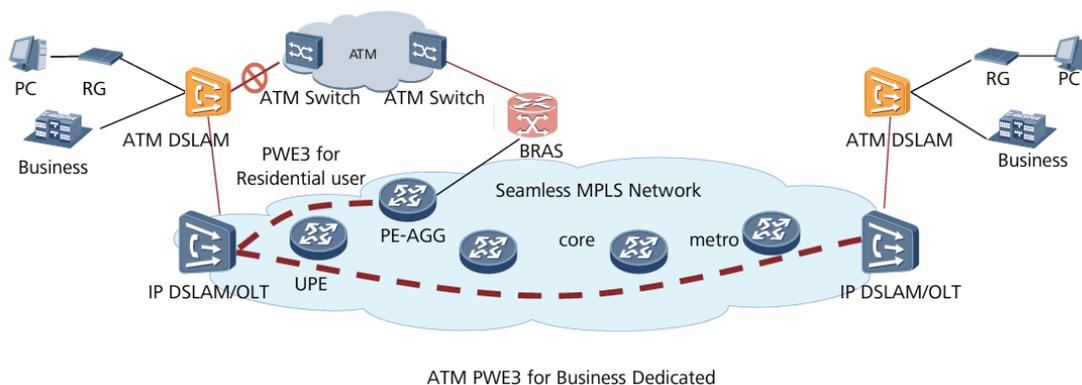


Figura 12. Escenario de migración gradual de servicios ATM

Capítulo 7. QoS Seamless MPLS

Hasta ahora hemos comentado las ventajas de Seamless MPLS en términos de gestión, provisión de servicios y sobre todo de escalabilidad. En este epígrafe veremos un ejemplo de simulación de su impacto en cuanto a la calidad de servicios o QoS (“Quality of Service”).

En una red con arquitectura MPLS simple, el QoS está limitado dentro de un mismo dominio o AS, usualmente dentro de la red troncal y de agregación. Esto es porque BGP no soporta la garantía de calidad de servicio a través de distintos AS. Además, el mismo protocolo BGP tiene un tiempo de convergencia demasiado alto cuando se produce un error. Por lo tanto, una implementación de QoS en intra-AS no garantiza un servicio QoS end-to-end en toda la red.

Para comprobar si un escenario Seamless MPLS mejoraría estos problemas, en el proyecto de Habtamu Kumera “*Analysing Impact of Seamless MPLS on QoS*” [8] se desarrolla un entorno práctico utilizando una plataforma de simulación de redes empresariales.

Cabe destacar que las simulaciones son todas llevadas a cabo por el proyecto mencionado anteriormente y, en este capítulo, realizaremos una descripción del entorno de simulación empleado por ellos y se comentará y analizará, por nuestra parte, los resultados obtenidos en su trabajo. Es importante observar la mejora en estos parámetros de calidad de usuario para darse cuenta de la mejoría de un avance hacia una red Seamless MPLS end-to-end.

En el software se incluyeron los dos casos a comparar, MPLS simple y Seamless MPLS en topologías idénticas (ver Figura 12). Para esta simulación se utilizaron 3 herramientas.

-eNSP (“Enterprise Network Simulation Platform”): herramienta gráfica de simulación de Huawei. Se utiliza principalmente para la simulación de funciones y características de routers, switches, PCs, hubs, clouds, etc.

-NQA (“Network Quality Analyzer”) analiza el comportamiento de la red y de la calidad de servicio mediante el envío de paquetes. Nos brinda parámetros importantes de QoS como el jitter, el retraso de las conexiones TCP y FTP, el ratio de transferencia de archivos, pérdida de paquetes... Funciona en tiempo real y necesita 2 extremos, un cliente NQA y un servidor NQA (fuente y destino).

-Ostinato: generador de tráfico. Elabora y envía paquetes en varios flujos y a diferentes velocidades configurables.

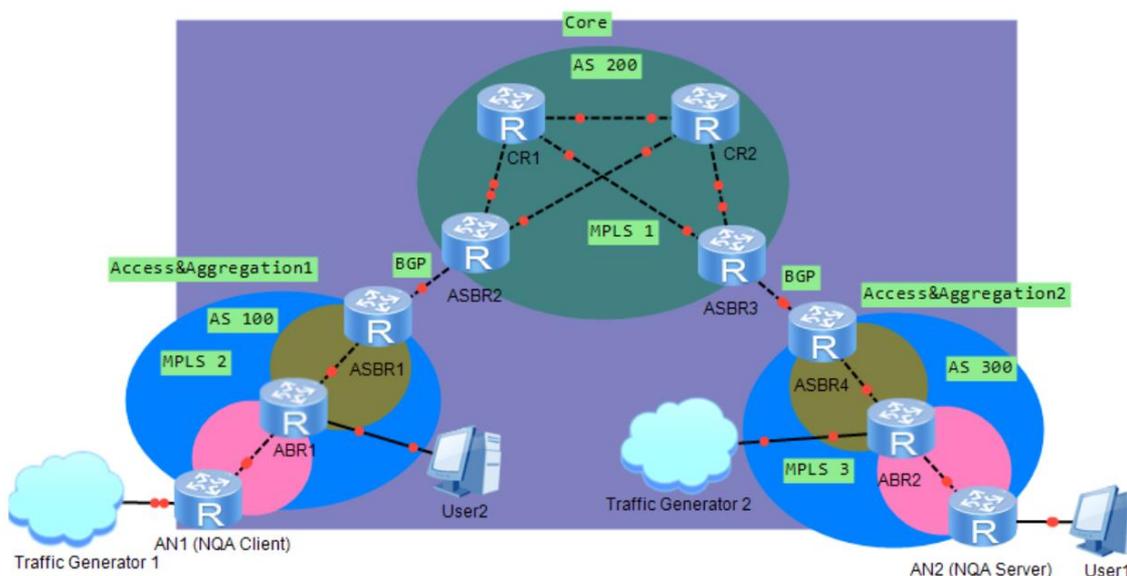


Figura 13. Topología utilizada para comparación de QoS MPLS vs Seamless MPLS. [8] “Figure 5.3”

En la topología generada, se implementaron dos generadores de tráfico. El primero inyecta la cantidad necesaria tráfico requerida para el análisis end-to-end de la red, mientras que el segundo por su parte inyecta tráfico aleatorio. Este segundo tráfico se genera para que exista competencia entre ambos por el uso de los recursos de la red. Como vemos, se han creado 3 dominios MPLS, cada uno con sus regiones de acceso y de agregación, estando el núcleo en otro dominio MPLS aparte. Esta topología es representativa de la cualquier red con tráfico end-to-end y con arquitectura MPLS de hoy en día. Cabe destacar que debido a las limitaciones de memoria de los PC y a los intensos procesos de las herramientas utilizadas, se utilizaron pocos nodos y enlaces redundantes en el núcleo de la red [8].

7.1 Throughput

Para medir este parámetro, AN1 (cliente) realiza una descarga de un archivo a través de AN2 (servidor) utilizando el protocolo FTP. Mediante el software NQA obtendremos información acerca del RTT medio que se ha necesitado para que se complete la descarga del archivo, para cada uno de los tamaños de archivo.

En la Figura 14 podemos ver un ejemplo de output de NQA para la descarga mediante FTP de un archivo de un tamaño de 950 bytes del escenario con MPLS simple. Mediante la medida del RTT medio, calculamos el throughput: $(950 \text{ bytes} \cdot 8\text{bits/byte})/14.850\text{s} = 511.78 \text{ Kbps}$. [8]

```
[AN1]display nqa results test-instance ADMINISTRATOR ftp

NQA entry(ADMINISTRATOR, ftp) :testflag is inactive ,testtype is ftp
1 . Test 1 result   The test is finished
  SendProbe:1           ResponseProbe:1
  Completion:success    RTD OverThresholds number: 0
  MessageBodyOctetsSum: 1038848      Stats errors number: 0
  Operation timeout number: 0         System busy operation number:0
  Drop operation number:0             Disconnect operation number: 0
  CtrlConnTime Min/Max/Average: 360/360/360
  DataConnTime Min/Max/Average: 14490/14490/14490
  SumTime Min/Max/Average: 14850/14850/14850
  Average RTT:14850
  Lost packet ratio:0 %
[AN1]
```

Figura 14. Ejemplo de output de RTT mediante NQA. [8] “Figure 5.4”

En la Tabla 1 podemos ver los parámetros de las descargas de archivos, según el tamaño de éstos.

File size (Kbyte)	100	200	300	500	700	800	900	1000
Average RTT (Sec) for MPLS	1.79	3.22	4.51	7.26	10.61	12.19	13.67	16.52
Average RTT (Sec) for SMPLS	1.61	2.67	3.85	6.03	8.16	9.51	10.44	12.07
Throughput MPLS (Kbps)	446.93	496.89	532.15	550.96	527.80	525.02	526.70	484.26
Throughput SMPLS(Kbps)	496.89	599.25	623.78	663.35	686.27	672.98	689.66	662.80

Tabla 1. Troughput para MPLS vs SMPLS para distintos tamaños de archivo. [8] “Table 5.1”

Tal y como vemos en la Figura 15, para tamaños de archivos FTP pequeños no hay una diferencia significativa en el rendimiento de ambos escenarios. Sin embargo, cuando los tamaños aumentan podemos ver que la topología con Seamless MPLS tiene un mejor rendimiento. Cogiendo como ejemplo el archivo de 1000 Kbytes, vemos una diferencia de throughput de unos 178 Kbps, lo cual es el 36.87% más de los 484.26 Kbps que conseguimos con el escenario de MPLS simple.

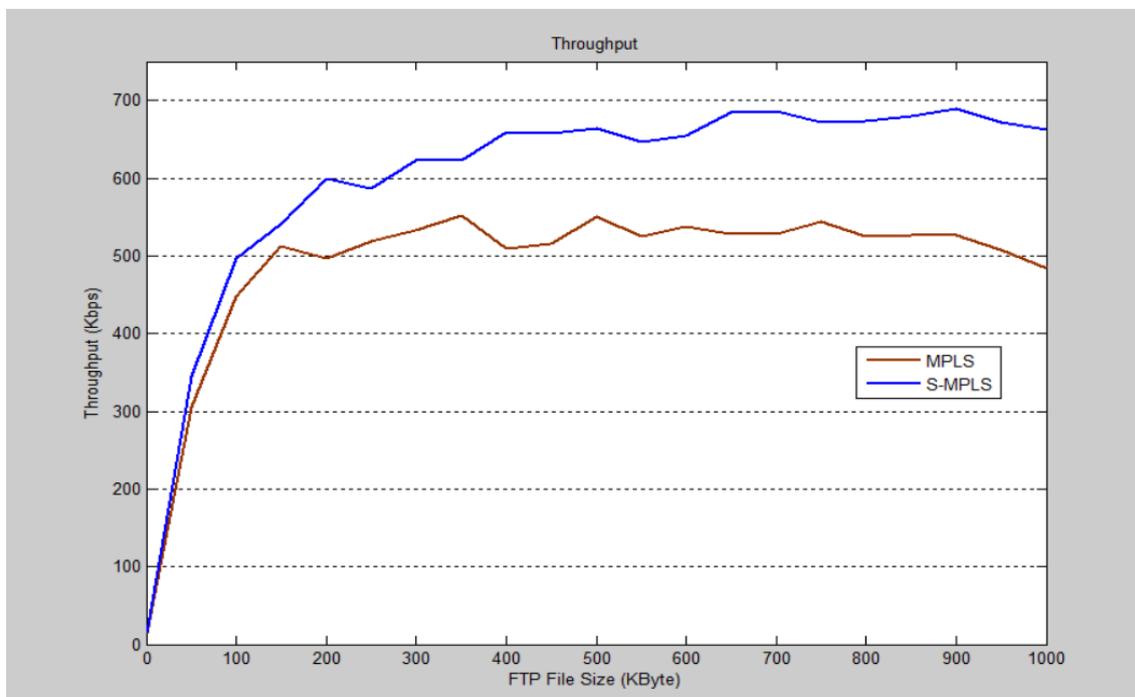


Figura 15. Gráfico de throughput para escenarios MPLS vs SMPLS. [8] “Figure 5.5”

La razón principal por la que podemos observar esta amplia mejora con Seamless MPLS frente al convencional es la comunicación entre las distintas áreas de la red. Tal y como hemos comentado anteriormente, este enrutamiento inter-area mucho más transparente, mediante el uso de BGP-LU, mejora notablemente la eficiencia de la comunicación end-to-end. De ahí que veamos la gran diferencia en cuanto a throughput, sobre todo en archivos que generan mayor congestión en la red.

7.2 Latencia

En este escenario se utilizó un test de ping mediante ICMP (Internet Control Message Protocol), para probar el tiempo medio de finalización de cada prueba con distintos tamaños de datos (Tabla 1). Se genera el tráfico end-to-end de la red, y NQA recopila el mínimo, el máximo y la media de delay de los mensajes de prueba entre AN1 y AN2 y viceversa. En la Figura 16 podemos ver un ejemplo de output con el envío de un mensaje de 20 bytes con el escenario de Seamless MPLS. [8]

```
[AN1-nqa-ADMINISTRATOR-icmp]display nqa results test-instance ADMINISTRATOR icmp
NQA entry(ADMINISTRATOR, icmp) :testflag is inactive ,testtype is icmp
1 . Test 1 result The test is finished
  Send operation times: 5          Receive response times: 5
  Completion:success           RTD OverThresholds number: 0
  Attempts number:1           Drop operation number:0
  Disconnect operation number:0 Operation timeout number:0
  System busy operation number:0 Connection fail number:0
  Operation sequence errors number:0 RTT Status errors number:0
  Destination ip address:9.9.9.9
  Min/Max/Average Completion Time: 50/70/60
  Sum/Square-Sum Completion Time: 300/18200
  Last Good Probe Time: 2018-06-20 09:17:50.6
  Lost packet ratio: 0 %
[AN1-nqa-ADMINISTRATOR-icmp]
```

Figura 16. Ejemplo de output de delay con ICMP mediante NQA. [8] “Figure 5.6”

Para aumentar la precisión de los valores de las latencias, se han utilizado las medias entre 15 y 20 muestras. Dando como resultados los datos de la Tabla 2.

Datsize (bytes)	20	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
Ave. Completion Time (ms) for MPLS	64	74	84	93	109	120	134	152	169
Ave. Completion Time (ms) for SMPLS	60	66	77	87	96	108	119	129	142

Tabla 2. Valores medios de latencia de MPLS vs SMPLS para distintos tamaños de archivo. [8] “Table 5.2”

Como vemos en los resultados (Tabla 2 y Figura 17), MPLS convencional tiene mayor latencia que Seamless, sobre todo para mayores tamaños de datos. Por ejemplo, para 8000 bytes, la latencia de Seamless MPLS 27 ms mejor (15.98% de los 169 ms de MPLS simple); lo cual es una diferencia bastante significativa.

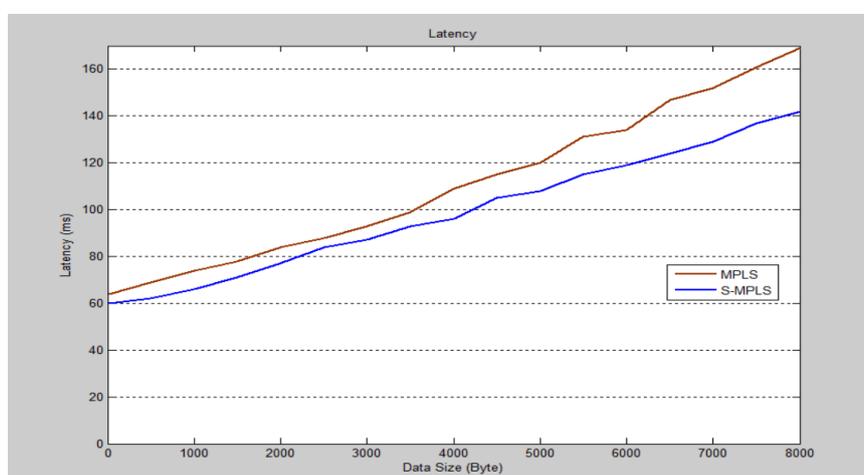


Figura 17. Gráfica de latencia para escenarios MPLS vs SMPLS. [8] “Figure 5.7”

7.3 Pérdida de paquetes

Según los estándares de la ITU, el valor recomendado para pérdida de paquetes es menor del 3%. Para este análisis, se han congestionado los enlaces de la red inyectando más tráfico por parte de los generadores. De esta manera se puede ver la tolerancia de ambos escenarios a la congestión. Se utiliza de nuevo el protocolo ICMP. En la Figura 16 podemos ver un ejemplo de escenario de pérdida de datos (20%) cuando los enlaces están congestionados: [8]

```
[AN1-nqa-ADMINISTRATOR-icmp]display nqa results

NQA entry(ADMINISTRATOR, icmp) :testflag is inactive ,testtype is icmp
1 . Test 1 result The test is finished
  Send operation times: 5          Receive response times: 4
  Completion:success           RTD OverThresholds number: 0
  Attempts number:1           Drop operation number:0
  Disconnect operation number:0  Operation timeout number:1
  System busy operation number:0  Connection fail number:0
  Operation sequence errors number:0  RTT Status errors number:0
  Destination ip address:9.9.9.9
  Min/Max/Average Completion Time: 140/820/322
  Sum/Square-Sum Completion Time: 1290/746900
  Last Good Probe Time: 2018-06-20 09:46:51.0
  Lost packet ratio: 20 %
[AN1-nqa-ADMINISTRATOR-icmp]
```

Figura 18. Ejemplo de output en caso de pérdida de paquetes. [8] “Figure 5.8”

Tal y como vemos en la Tabla 3 y en la Figura 19, no hay nada de pérdida de paquetes en ninguno de los dos escenarios cuando los enlaces no están congestionados.

Sin embargo, se puede ver la diferencia del comienzo de pérdida paquetes entre ambas arquitecturas, ya que a partir de 4000 bytes ya no se cumplirían las recomendaciones de la ITU para MPLS convencional, mientras que para Seamless no sería hasta tamaños de 6000 bytes. Para un tamaño de archivo de 8000 bytes, por ejemplo, vemos un 20% menos de pérdida de paquetes en Seamless MPLS.

Data Size (bytes)	20	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
Packet Loss (%) for MPLS	0	0	0	1	3	9	18	35	50
Packet Loss (%) for SMPLS	0	0	0	0	0	1	4	15	30

Tabla 3. Valores de pérdida de paquetes de MPLS vs SMPLS. [8] "Table 5.3

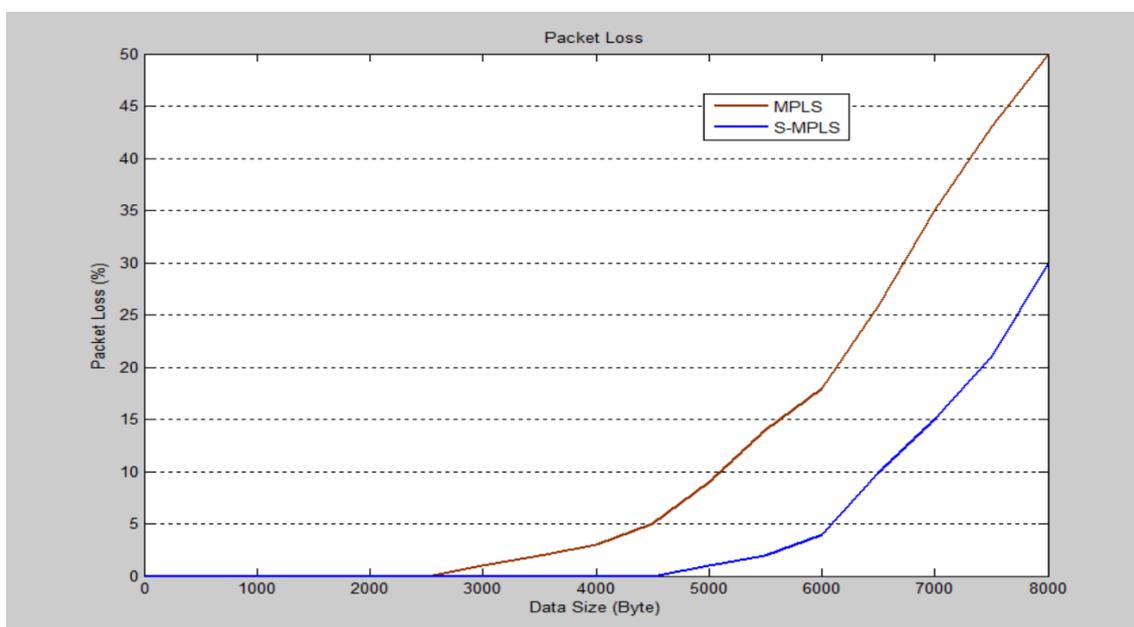


Figura 19. Gráfica de pérdida de paquetes para escenarios MPLS vs SMPLS. [8] "Figure 5.9"

7.4 Jitter

La congestión variable de la red, configuración de errores y más efectos, producen que el retraso en la llegada de los paquetes sufra variaciones en lugar de permanecer constante. Haciendo uso de los mismos procedimientos que para los demás parámetros de QoS se pudo simular y medir los valores de jitter. Para este caso de análisis se tomaron los valores medios de jitter (ver ejemplo output de Figura 20) para un mismo camino de ida y vuelta, enfrentando ambos escenarios de comparación. [8]

```
[AN1-nqa-ADMINISTRATOR-ICMPJITTER]display nqa results
NQA entry(ADMINISTRATOR, ICMPJITTER) :testflag is inactive ,testtype is jitter
1 . Test 1 result  The test is finished
  SendProbe:60                                ResponseProbe:59
  Completion:success                          RTD OverThresholds number:0
  OWD OverThresholds SD number:0              OWD OverThresholds DS number:0
  Min/Max/Avg/Sum RTT:40/70/56/3280           RTT Square Sum:186200
  NumOfRTT:59                                 Drop operation number:0
  Operation sequence errors number:0          RTT Stats errors number:0
  System busy operation number:0              Operation timeout number:1
  Min Positive SD:10                          Min Positive DS:10
  Max Positive SD:20                          Max Positive DS:20
  Positive SD Number:12                       Positive DS Number:9
  Positive SD Sum:160                         Positive DS Sum:110
  Positive SD Square Sum:2400                 Positive DS Square Sum:1500
  Min Negative SD:10                         Min Negative DS:10
  Max Negative SD:20                         Max Negative DS:20
  Negative SD Number:16                      Negative DS Number:10
  Negative SD Sum:170                        Negative DS Sum:120
  Negative SD Square Sum:1900                Negative DS Square Sum:1600
  Min Delay SD:20                            Min Delay DS:19
  Avg Delay SD:27                            Avg Delay DS:26
  Max Delay SD:35                             Max Delay DS:34
  Delay SD Square Sum:46550                  Delay DS Square Sum:43329
  Packet Loss SD:0                           Packet Loss DS:0
  Packet Loss Unknown:0                      Average of Jitter:11
```

Figura 20. Ejemplo de output para obtención de Jitter. [8] "Figure 5.10"

Vemos en la Figura 21 como el jitter medio en el caso de arquitectura Seamless MPLS es menos que en MPLS clásico. Si cogemos el ejemplo de 8000 bytes de tamaño de archivo, la diferencia de jitter medio es de unos 3 ms (un 12.5% aproximadamente). Esta diferencia de rendimiento tiene un impacto significativo a la hora de tráfico sensible de jitter, como son los datos en tiempo real (llamadas de voz, videollamadas, streaming en directo, etc).

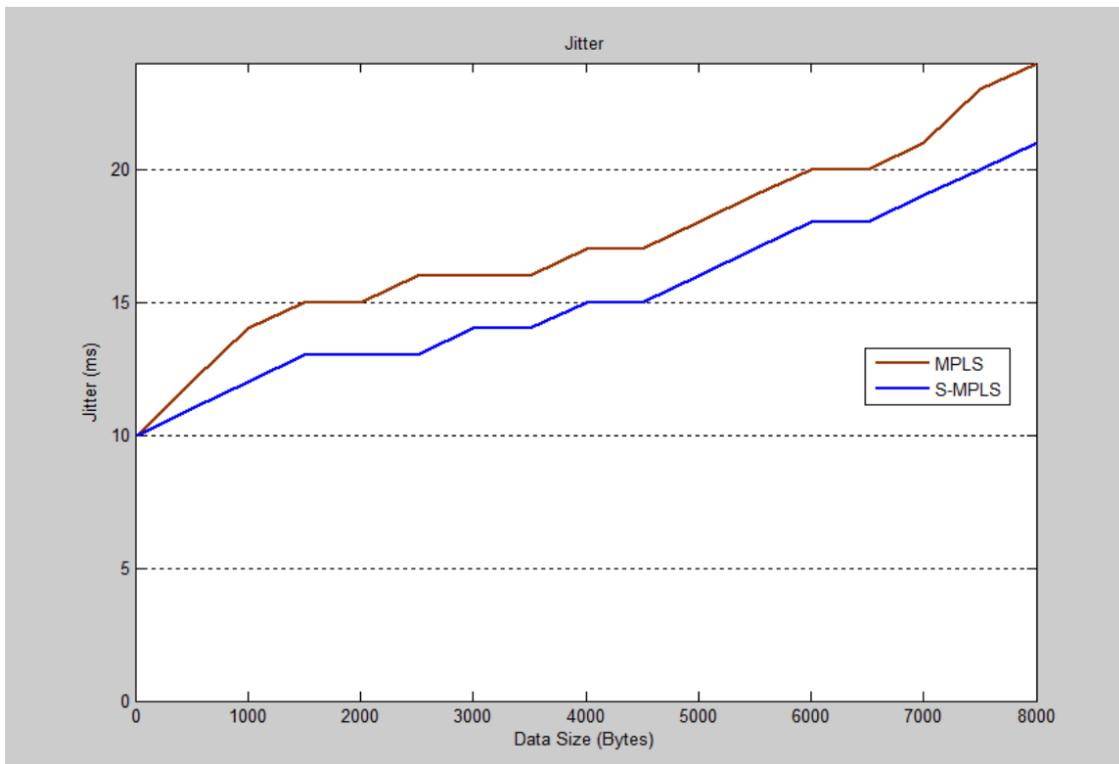


Figura 21. Gráfica de jitter para escenarios MPLS vs SMPLS. [8] "Figure 5.11"

Capítulo 8. Configuración de paso a Seamless MPLS

8.1 Descripción de ATN910C-B

Antes de comenzar con la descripción del diseño del proyecto a desarrollar, introduciremos primero el equipo el cual actúa como PE de la red MPLS y realizamos su paso a Seamless. En este caso se trata de un equipo del vendor Huawei, un ATN 910C-B.

La serie ATN910 está diseñada para el transporte de tráfico proveniente de estaciones base (2G/3G/4G/5G) y líneas privadas de empresas. Proporciona servicios integrados FMC en la red de agregación. En general, son una serie de routers de acceso multiservicio, que ocupan una unidad en rack y posee interfaces de alto rendimiento, que a su vez son flexibles (pueden variar entre Fast Ethernet, Gigabit Ethernet y 10Gigabit Ethernet). Además, ofrecen una instalación y despliegue sencillos. [9]



ATN 910C-B

- 4x10GE(SFP+)+8xFE/GE/10GE(SFP/SFP+)+8xFE/GE(SFP)+8xFE/GE(RJ-45)
- Dual DC / AC / hybrid (Flexible Power Slots)

Figura 22. Equipo ATN910C-B, con descripción de interfaces

Como vemos en la imagen de arriba, este equipo tiene un total de 28 puertos. La numeración de ellos comienza en 0 y va de arriba abajo y de izquierda a derecha.

Los 4 primeros son puertos fijos ópticos de 10GE. Cabe destacar que según la normativa del operador cliente, el puerto 0 y el 2 estarían reservados para las dos rutas de salida por la red de agregación (ambos son los que nos atañen en nuestro diseño). Además, el puerto 1 generalmente está reservado también la conexión del 5G de la estación base coubicada.

Seguidamente, tenemos 8 puertos también ópticos que pueden configurarse como 10GE, 1GE o Fast Ethernet (100 Mbps). Después de estos tenemos otros 8 iguales, pero solo configurables entre GE y FE.

Después, tenemos 4 puertos más de conexión Ethernet, en este caso eléctrica (RJ-45) configurables como GE o FE. Estos se suelen utilizar para conexiones de 2G/3G/4G y gestión del nodo coubicado, o para conexiones con algún equipo del emplazamiento que mantenga un radioenlace con tráfico de otros nodos.

El último grupo de 4 puertos que vemos en la imagen son para otros usos, como sincronización de reloj del equipo, mantenimiento, configuración de gestión o para conexiones locales. En la siguiente Figura podemos ver el layout virtual que nos aparece en el gestor de Huawei. Vemos que en este ejemplo están siendo utilizados los puertos ópticos 0 y 2 (para salidas de transmisión de 10G); además de los eléctricos 20 y 21 (conexión con la estación base coubicada).

En este layout también se indica el estado del “FAN”, que se refiere a la ventilación del equipo

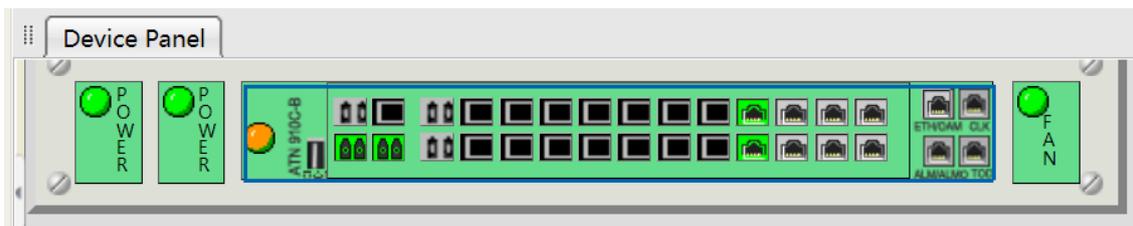


Figura 23. Layout ATN910C-B, captura de gestor

Estos equipos aplican para el extremo más cercano al usuario de la red de agregación, con acceso multi-servicio. Se pueden instalar en escenarios complejos, ya que poseen gran flexibilidad y un despliegue muy sencillo.

Además de los casos de uso que hemos comentado anteriormente, también es una solución muy común en escenarios de WTTx (“Wireless Transmission to X”). [9]

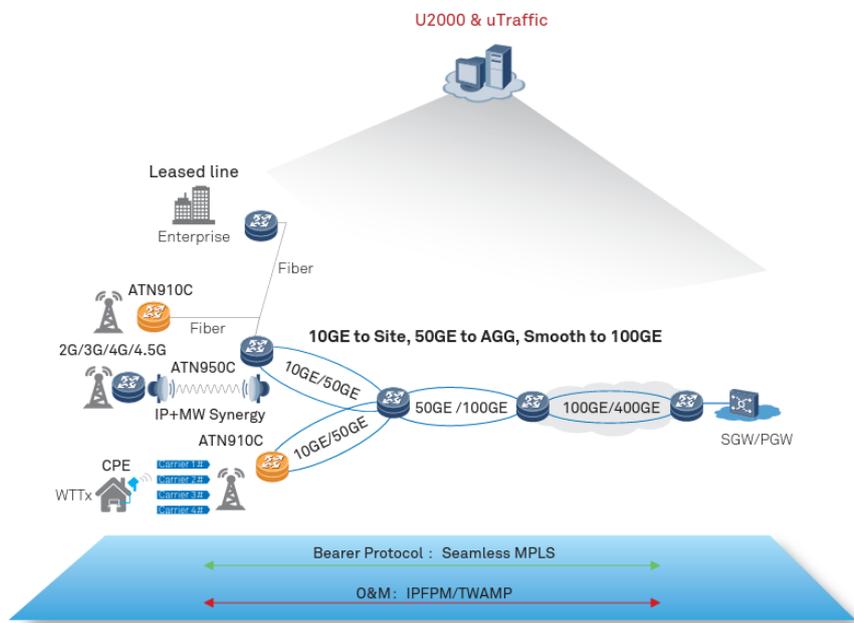


Figura 24. Escenarios de uso de ATN910C series.

8.2 Situación actual de la transmisión del equipo

El primer paso cuando llega un trabajo de paso a Seamless de un equipo de la red, es una revisión de la transmisión que tiene actualmente. En la red del operador tenemos diferenciadas tres capas: la de acceso, la de agregación y finalmente la del core de la red (hasta ahí tenemos visibilidad). Nuestro equipo a pasar a Seamless forma parte de la red de agregación, sería el PE de esta arquitectura MPLS.

Cuando indicamos situación inicial de la transmisión del nodo, nos referimos a:

- **Información acerca de nodo o nodos de acceso que cuelgan de nuestro equipo** (con sus respectivas tecnologías 2G/3G/4G/5G y gestión O&M). Debemos saber que ruta sigue su tráfico y en que equipos finaliza (BSC/RNC para 2G/3G y routers de agregación para O&M/4G/5G).

Importante también revisar si el tráfico de alguna de las tecnologías es compartido con otro operador, por proyectos de compartición que tiene en común algunos de ellos. Esto es, ya que si tenemos que cambiar alguna configuración de estos servicios, se debe coordinar con el operador cooperante.

- **Interfaces y subinterfaces actuales**, VLANs asignadas a cada uno de ellos y configuración de todos. Conocer que tipo de tráfico o gestión está definido por cada uno de ellos.

En este apartado es también importante revisar bien el cableado del equipo al repartidor, así como el del repartidor a la fibra de calle en ambos extremos. Esto es porque en estos trabajos se aprovecha y se realiza un cambio de salida de TX a de 1G a 10G, con los cambios de equipamiento que ello conlleva (fibras, SFPs, etc).

- **Túneles LSP de salida del equipo** hasta el POP provincial. En este apartado, anotamos cada uno de los saltos que lleva la ruta de éstos, indicando distintos equipos, sus interfaces y direcciones IPs que atraviesa.

- **Información sobre las tablas VRF** (“Virtual Routing and Forwarding”) que posee el equipo actualmente.

- **Otros datos como LSR ID** (identificador de enrutador MPLS) y otros parámetros necesarios para la gestión del equipo.

Hay dos motivos principales por los cuales se revisa y se anota toda esta información actual sobre la transmisión del equipo.

El primer motivo es para ver el trabajo con perspectiva y ver con claridad que necesitamos reconfigurar y el tráfico que hay en riesgo durante la implementación de este trabajo. Por ejemplo, en el caso que comentábamos anteriormente de tráfico compartido con otros operadores; o en escenarios en los que hay demasiados nodos en cadena, los cuales a partir de cierto límite solo se pueden realizar nocturnamente.

La segunda razón es simplemente una cuestión de seguridad. En el caso de que durante la implementación del trabajo se produzca cualquier tipo de problema y se monitoree pérdida de tráfico o de gestión, se puede realizar roll-back y dejar todo configurado como lo estaba anteriormente. De esta manera recuperaremos rápidamente todo lo que se hubiera caído. Para poder volver a atrás y reconfigurar todo como estaba inicialmente, necesitamos tener la documentación necesaria para que quede correctamente.



Figura 26. Bastidor de VALX1291

Para ver exactamente que portadoras se están radiando y que tecnologías se están procesando, entramos en el gestor de Huawei para estación base. Para entender la información de los outputs de la Figura 27, es necesario hacer una revisión a la Tabla 5, para ver la correspondencia de tiene el operador con la banda utilizada.

TECNOLOGIA	LETRA	BANDA
2G	E	G900
3G	B	U900
	F	U2100
IoT	C	IoT (L800)
4G	M	L800
	N	L1800
	T	L2600
	Y	L700
5G	P	TDD3500
	W	DSS2100
	Q	DSS700

Tabla 5. Correspondencia letra con banda

Teniendo en cuenta ambas fuentes de información, vemos que en nuestro nodo VALX1291 tenemos actualmente las tecnologías 2G (G900), 3G (U2100), 4G (L800, L1800 y L700), IoT (L800) y 5G (TDD3500 y DSS700).

Cabe destacar el significado de las letras previas a la banda de frecuencia utilizada, donde tenemos:

- G indicando GSM (“Global System for Mobile Communications”)
- U para UMTS (“Universal Mobile Telecommunications System”)
- L de LTE (“Long Term Evolution”)
- TDD para el modo de sincronización por tiempo dúplex para 5G en 3’5 GHz
- DSS se refiere a la Compartición Dinámica de Espectro, ya que en este caso coexisten las tecnologías 5G NR y LTE en la misma banda habitual en la tecnologías NSA.

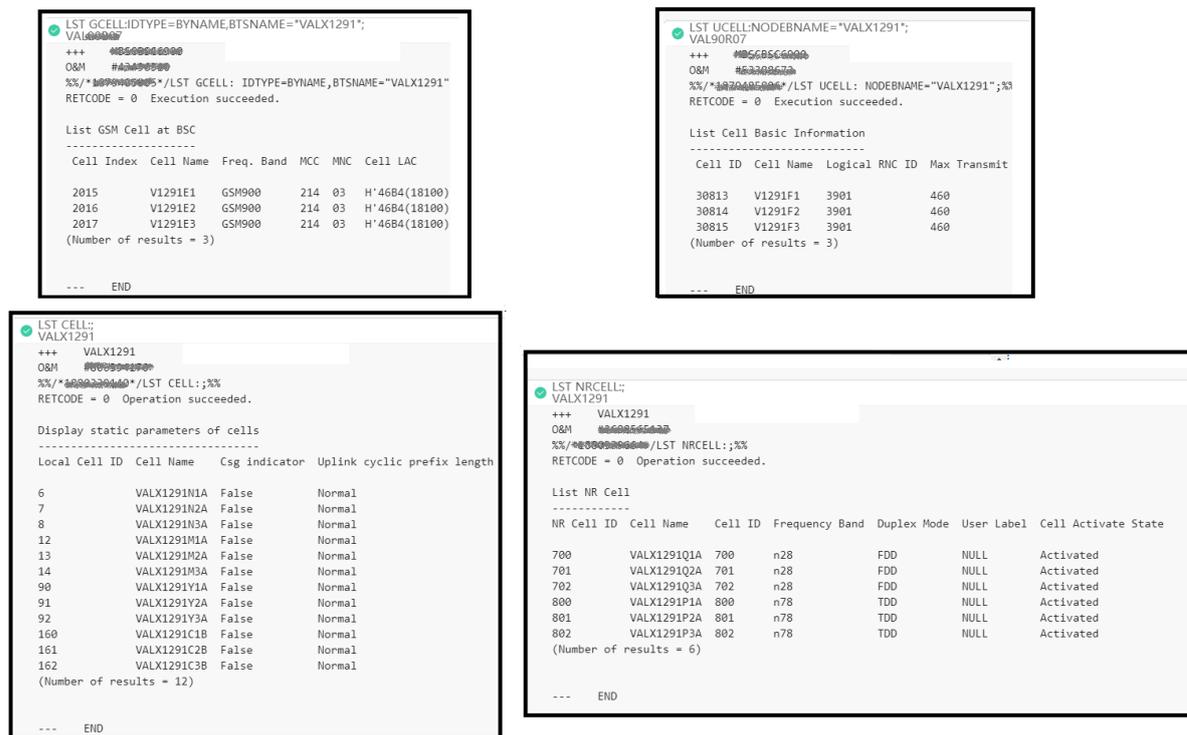


Figura 27. Portadoras radiando en la estación base VALX1291

Visto esto, tenemos en cuenta que existen en nuestro nodo 5 VLAN: una por cada tecnología, más una para gestión de él mismo. Por tanto, ya sabemos el tráfico que será necesario bascular hacia la nueva solución Seamless MPLS.

8.2.2 Interfaces Actuales

Para este trabajo tendremos en cuenta fundamentalmente 3 interfaces. El primero de ellos será el de la conexión con el nodo descrito anteriormente, mientras que los otros 2 son los correspondiente a la salida de transmisión del ATN VX1291RT1 hacia la red de agregación.

En la siguiente imagen podemos ver la capacidad actual de los módulos SFP, así como la distancia, longitud de onda, potencia recibida y transmitida, etc.

```
<VX1291RT1>
<VX1291RT1>dis optical-module brief
```

Port	Status	Duplex	Type	WaveLength	RxPower	TxPower	Mode	VendorPN
ETH0/2/4	up	full	1G-10km-ESFP	1310,00nm	-6,36dBm	-6,20dBm	SingleMode	MXPD-243S
ETH0/2/5	up	full	1G-10km-ESFP	1310,00nm	-6,70dBm	-6,66dBm	SingleMode	MXPD-243S
ETH0/2/6	up	full	10G-10km-SFP+	1310,00nm	-3,45dBm	-0,95dBm	SingleMode	RTXM228-401

```
<VX1291RT1>
```

Figura 28. Módulos SFP existentes en VX1291RT1 previos.

En la Figura 29 podemos ver la configuración actual de los interfaces y subinterfaces de VX1291RT1 para el nodo. Podemos ver las 5 VLANs mencionadas anteriormente, cada una con su direccionamiento IP, su descripción y la asignación a su correspondiente VRF, de las cuales hablaremos posteriormente. Todas estas subinterfaces van sobre el puerto 0/2/6, en óptico y a 10G (debido a que el nodo posee 5G).

```
#
interface GigabitEthernet0/2/6
mtu 1620
description VALX1291_2G-3G-4G-5G_TRAFICO-0&M
undo shutdown
undo dcn
statistic enable
#
interface GigabitEthernet0/2/6.11
vlan-type dot1q 11
mtu 1620
description VALX1291_2G_TRAFICO
ip binding vpn-instance VRF_ALL_VX1291RT1
ip address [redacted] 255.255.255.252
statistic enable
trust upstream default
#
interface GigabitEthernet0/2/6.12
vlan-type dot1q 12
mtu 1620
description VALX1291_3G_TRAFICO
ip binding vpn-instance VRF_ALL_VX1291RT1
ip address [redacted] 255.255.255.252
statistic enable
trust upstream default
#
interface GigabitEthernet0/2/6.14
vlan-type dot1q 14
mtu 1620
description VALX1291_4G_TRAFICO
ip binding vpn-instance VRF_LTE_VX1291RT1
ip address [redacted] 255.255.255.252
statistic enable
trust upstream default
#
interface GigabitEthernet0/2/6.15
vlan-type dot1q 15
mtu 1620
description VALX1291_4G_0&M
ip binding vpn-instance VRF_ALL_VX1291RT1
ip address [redacted] 255.255.255.252
statistic enable
trust upstream default
#
interface GigabitEthernet0/2/6.18
vlan-type dot1q 18
mtu 1620
description VALX1291_5G_TRAFICO
ip binding vpn-instance VRF_LTE_VX1291RT1
ip address [redacted] 255.255.255.252
statistic enable
trust upstream default
#
```

Figura 29. Configuración interfaz y subinterfaces de VX1291RT1 para el nodo VALX1291 previa.

Los dos interfaces restantes, en la implementación de trabajo se migrarán a otros puertos. Como veremos a continuación y por normativa del operador, cuando estos interfaces llevan instalados SFPs de 1G (como en nuestro caso), ocupan los puertos 4 y 5. Al realizar el paso a 10G de estos interfaces, será necesario la migración de éstos a los puertos 0 y 2 respectivamente.

En las configuraciones de estos puertos de salida, podemos destacar un par de aspectos:

-Ambos tienen configurada la VLAN 1, la cual por normativa de operador es la que se configura para conexiones directas con FO. Este número de VLAN variaría en caso de que ésta atravesase un tramo de ruta por la red fija o un tramo de radioenlaces.

-Además, podemos ver en la descripción el código del siguiente equipo de la red de agregación al que conectan; así como la subred IP existente entre ellos.

-También se observa que ambos puertos se utilizan para la sincronización de reloj del equipo VX1291RT1, con prioridad 1 y 2 respectivamente.

-Por último, las dos subinterfaces tienen asignado el área ISIS 12479, la cual es la asignada por el operador a nivel nacional. Más adelante veremos el cambio que sufrirán con el paso a Seamless MPLS.

```
\VX1291RT1/
<VX1291RT1>dis cu int GigabitEthernet0/2/4
#
interface GigabitEthernet0/2/4
mtu 1620
description VX0063RN1-0.14.6
undo shutdown
undo dcn
clock synchronization enable
clock priority 1
ptp notslave disable
ptp enable
#
return
<VX1291RT1>dis cu int GigabitEthernet0/2/4.1
#
interface GigabitEthernet0/2/4.1
vlan-type dot1q 1
mtu 1620
description VX0063RN1-0.14.6
ip address 255.255.255.252
statistic enable
trust upstream default
isis enable 12479
isis circuit-level level-1
isis small-hello
mpls
mpls te
mpls rsvp-te
mpls rsvp-te hello
trust 8021p
#
return
<VX1291RT1>

<VX1291RT1>dis cu int GigabitEthernet0/2/5
#
interface GigabitEthernet0/2/5
mtu 1620
description VX1034RN1-0.13.4
undo shutdown
undo dcn
clock synchronization enable
clock priority 2
ptp notslave disable
ptp enable
#
return
<VX1291RT1>dis cu int GigabitEthernet0/2/5.1
#
interface GigabitEthernet0/2/5.1
vlan-type dot1q 1
mtu 1620
description VX1034RN1-0.13.4
ip address 255.255.255.252
statistic enable
trust upstream default
isis enable 12479
isis circuit-level level-1
isis small-hello
mpls
mpls te
mpls rsvp-te
mpls rsvp-te hello
trust 8021p
#
return
<VX1291RT1>
```

Figura 30. Configuración interfaces de salida de transmisión previa.

8.2.3 Tablas VRF y Túneles LSP

En este punto veremos cómo están configuradas las dos VRFs que hemos visto anteriormente, así como la política de túneles de cada una de ellas. Tal y como aparecían en las subinterfaces del nodo (Figura 29), el equipo VX1291RT1 tiene una VRF que incluye las VLANs correspondientes al tráfico 2G/3G y a O&M del nodo. Por otro lado, tenemos la VRF que incluye las VLANs de tráfico 4G/5G, nombrada como VRF_LTE_VX1291RT1. Vemos como en este caso, y en otros muchos en la red, al introducir esta nueva tecnología, se incluyó en la misma ruta que 4G (cambiará con el paso a Seamless).

En la definición de estas VRF (Figura 31), se incluye la “tunnel-policy” la cual normalmente se nombre de manera idéntica a la VRF. Podemos ver también el “vpn-tarjet” de cada una de ellas (37 y 38 respectivamente), los cuales corresponden con las VRFs del POP provincial, en este caso, de Valencia.

```
# ip vpn-instance VRF_ALL_VX1291RT1
description VRF_ALL_VX1291RT1
ipv4-family
 route-distinguisher [redacted]:37
 vpn frr
 tnl-policy VRF_ALL_VX1291RT1
 apply-label per-instance
 ip frr
 vpn-target 12479:37 export-extcommunity
 vpn-target 12479:37 import-extcommunity

# ip vpn-instance VRF_LTE_VX1291RT1
description VRF_LTE_VX1291RT1
ipv4-family
 route-distinguisher [redacted]:38
 vpn frr
 tnl-policy VRF_LTE_VX1291RT1
 apply-label per-instance
 ip frr
 vpn-target 12479:38 export-extcommunity
 vpn-target 12479:38 import-extcommunity
```

Figura 31. Definición de VRFs de VX1291RT1 previa

Cada una de las VRFs tiene asignada dos túneles: uno principal y otro de protección, los cuales quedan especificados en la “tunnel-policy” de cada uno de ellos.

```
# tunnel-policy VRF_ALL_VX1291RT1
 tunnel binding destination [redacted] te Tunnel5
 tunnel binding destination [redacted] te Tunnel7
# tunnel-policy VRF_LTE_VX1291RT1
 tunnel binding destination [redacted] te Tunnel11
 tunnel binding destination [redacted] te Tunnel13
```

Figura 32. Tunnel-policy de VX1291RT1 previa

Ests túneles vienen definidos como interfaces en la configuración del equipo, así como su “explicit-path” o ruta mediante la que llegan hasta el POP.

```
# interface Tunnel11
description to [redacted]
ip address unnumbered interface LoopBack0
 tunnel-protocol mpls te
 destination [redacted]
 mpls te reserved-for-binding
 mpls te reverse-lsp protocol rsvp-te ingress-lsr-id [redacted] tunnel-id 14028
 mpls te tunnel-id 14027
 mpls te path explicit-path nms-[redacted]-m
 mpls te protection tunnel 14041 mode revertive wtr 10
# interface Tunnel13
description [redacted]
ip address unnumbered interface LoopBack0
 tunnel-protocol mpls te
 destination [redacted]
 mpls te reserved-for-binding
 mpls te reverse-lsp protocol rsvp-te ingress-lsr-id 10.219.103.12 tunnel-id 14053
 mpls te tunnel-id 14052
 mpls te path explicit-path nms-[redacted]-m
 mpls te protection tunnel 14054 mode revertive wtr 10
# interface Tunnel15
description to [redacted]
ip address unnumbered interface LoopBack0
 tunnel-protocol mpls te
 destination 10.219.103.9
 mpls te reserved-for-binding
 mpls te reverse-lsp protocol rsvp-te ingress-lsr-id [redacted] tunnel-id 14057
 mpls te tunnel-id 14056
 mpls te path explicit-path nms-[redacted]-m
 mpls te protection tunnel 14058 mode revertive wtr 10
# interface Tunnel17
description to [redacted]
ip address unnumbered interface LoopBack0
 tunnel-protocol mpls te
 destination [redacted]
 mpls te reserved-for-binding
 mpls te reverse-lsp protocol rsvp-te ingress-lsr-id 10.219.103.12 tunnel-id 14061
 mpls te tunnel-id 14060
 mpls te path explicit-path nms-[redacted]-m
 mpls te protection tunnel 14062 mode revertive wtr 10
```

Figura 33. Interfaces para túneles de VX1291RT1 previos

Capítulo 9. Implementación Paso a Seamless MPLS

9.1 Nuevos interfaces

Tras la implementación del trabajo, pasamos de hacer uso de los puertos 4 y 5 para la salida de transmisión, a utilizar el 0 y el 2. Además, comprobamos que se han instalado nuevos SFPs de 10G para ambas rutas y que la potencia recibida y transmitida es la correcta.

```
<VX1291RT1>display optical-module brief
```

Port	Status	Duplex	Type	Wavelength	RxPower	TxPower	Mode	VendorPN
ETH0/2/0	up	full	10G-10km-SFP+	1310.00nm	-7.09dBm	-2.23dBm	SingleMode	LTF1305-BC+
ETH0/2/2	up	full	10G-10km-SFP+	1310.00nm	-8.30dBm	-3.48dBm	SingleMode	LTF1305-BC+
ETH0/2/6	up	full	10G-10km-SFP+	1310.00nm	-3.29dBm	-0.96dBm	SingleMode	RTXM228-401

Figura 34. Módulos SFP existentes en VX1291RT1

El cambio principal para las subinterfaces correspondientes al nodo VALX1291 es la actualización de VRFs asignadas a las distintas subredes. Según la normativa del operador, y para una correcta utilización de Seamless MPLS, se crean 4 VRFs:

- VRF_ALL_XX: para tráfico 2G/3G.
- VPN_GESTION_XX: para VLAN de gestión.
- RAN_LTE_XX: para tráfico únicamente de 4G
- RAN_5G_XX: para tráfico 5G.

En un apartado posterior desarrollaremos la configuración de estas nuevas VRFs y su actualización en las “tunnel-policy”.

```
interface GigabitEthernet0/2/6
mtu 1620
description VALX1291_2G-3G-4G-5G_TRAFICO-0&M
undo shutdown
undo dcn
statistic enable
#
interface GigabitEthernet0/2/6.11
vlan-type dot1q 11
mtu 1620
description VALX1291_2G_TRAFICO
ip binding vpn-instance VRF_ALL_VX1291RT1
ip address [redacted] 255.255.255.252
statistic enable
trust upstream default
#
interface GigabitEthernet0/2/6.12
vlan-type dot1q 12
mtu 1620
description VALX1291_3G_TRAFICO
ip binding vpn-instance VRF_ALL_VX1291RT1
ip address [redacted] 255.255.255.252
statistic enable
trust upstream default
#
interface GigabitEthernet0/2/6.14
vlan-type dot1q 14
mtu 1620
description VALX1291_4G_TRAFICO
ip binding vpn-instance RAN_LTE_VX1291RT1
ip address [redacted] 255.255.255.252
statistic enable
trust upstream default
#
interface GigabitEthernet0/2/6.15
vlan-type dot1q 15
mtu 1620
description VALX1291_4G_0&M
ip binding vpn-instance VPN_GESTION_VX1291RT1
ip address [redacted] 255.255.255.252
statistic enable
trust upstream default
#
interface GigabitEthernet0/2/6.18
vlan-type dot1q 18
mtu 1620
description VALX1291_5G_TRAFICO
ip binding vpn-instance RAN_5G_VX1291RT1
ip address [redacted] 255.255.255.252
statistic enable
trust upstream default
#
```

Figura 35. Configuración interfaz y subinterfaces de VX1291RT1 para el nodo VALX1291

En cuanto a los interfaces de salida, debemos destacar un par de cambios. En primer lugar, como hemos comentado anteriormente, cambian a los puertos 0 y 2 respectivamente, que son los que vemos en la Figura 36 que conectan con los equipos de las rutas de agregación.

En el diseño de estos nuevos interfaces, creamos nuevos Trunk (habitualmente 10 y 20 por normativa). Puede ser confuso ya que éstos suelen ser creados para cuando queremos incluir varios puertos para una misma subinterfaz, mientras que en nuestro caso cada uno de los Trunk solo posee un puerto. La razón de este diseño es la preparación del futuro, teniendo en cuenta que la red continuará avanzando y cada vez el tráfico será más y más pesado. De esta manera, ya tenemos el Trunk creado, y en el caso de tener que incluir un nuevo puerto y sumar su capacidad para la ruta, simplemente hay que incluir en la configuración de este puerto la pertenencia al Trunk. Si no estuviera creado de antemano, sería necesario realizar un pequeño corte del servicio para incluirlo.

```
#
interface GigabitEthernet0/2/0
description VX0063RN1-0.6.2
undo shutdown
eth-trunk 10
undo dcn
clock synchronization enable
clock priority 1
ptp notslave disable
ptp enable
#
#
interface Eth-Trunk10
description Eth-Trunk_VX0063RN1_28
#
interface Eth-Trunk10.5
vlan-type dot1q 5
mtu 9100
description Eth-Trunk_VX0063RN1_28
ip address [redacted] 255.255.255.252
statistic enable
trust upstream default
isis enable 213
isis circuit-type p2p
isis circuit-level level-1
isis authentication-mode md5 cipher [redacted]
isis cost 100
isis ldp-sync
mpls
mpls mtu 9100
mpls te
mpls rsvp-te
mpls rsvp-te hello
mpls ldp
trust 8021p
#
#
interface GigabitEthernet0/2/2
description VX1034RN1-0.8.4
undo shutdown
eth-trunk 20
undo dcn
clock synchronization enable
clock priority 2
ptp notslave disable
ptp enable
#
#
interface Eth-Trunk20
description Eth-Trunk_VX1034RN1_29
#
interface Eth-Trunk20.5
vlan-type dot1q 5
mtu 9100
description Eth-Trunk_VX1034RN1_29
ip address [redacted] 255.255.255.252
statistic enable
trust upstream default
isis enable 213
isis circuit-type p2p
isis circuit-level level-1
isis authentication-mode md5 cipher [redacted]
isis cost 100
isis ldp-sync
mpls
mpls mtu 9100
mpls te
mpls rsvp-te
mpls rsvp-te hello
mpls ldp
trust 8021p
#
```

Figura 36. Configuración interfaces de salida de transmisión.

9.2 Actualización tablas VRF y nuevos túneles

A continuación, vemos la actualización que hacemos sobre las VRF y los túneles LSP. Como hemos comentado en el capítulo anterior, pasamos a crear 4 VRFs, cada una de ellas con sus tecnologías asociadas. En la Figura 37 podemos ver su nueva configuración, donde podemos destacar los nuevos “vpn-target”, que corresponden a los nuevos BGP Peer que vemos en la Figura 38. Este enrutamiento es propio, como veíamos al principio de este trabajo, de la arquitectura Seamless MPLS.

```
#
ip vpn-instance VPN_GESTION_VX1291RT1
description VPN_GESTION_VX1291RT1
ipv4-family
route-distinguisher [redacted]:20000
vpn frr
tnl-policy VPN_GESTION_VX1291RT1
apply-label per-instance
vpn-target 12479:20000002 export-extcommunity
vpn-target 12479:20000001 import-extcommunity
#
ip vpn-instance VRF_ALL_VX1291RT1
description VRF_ALL_VX1291RT1
ipv4-family
route-distinguisher [redacted]:37
vpn frr
tnl-policy VRF_ALL_VX1291RT1
apply-label per-instance
ip frr
vpn-target 12479:37 export-extcommunity
vpn-target 12479:37 import-extcommunity
#
tunnel-selector BGP-LU permit node 10
apply tunnel-policy BGP-LU

#
ip vpn-instance RAN_5G_VX1291RT1
description RAN_5G_VX1291RT1
ipv4-family
route-distinguisher [redacted]:20001
vpn frr
tnl-policy RAN_5G_VX1291RT1
apply-label per-instance
vpn-target 12479:20001002 export-extcommunity
vpn-target 12479:20001145 export-extcommunity
vpn-target 12479:20001001 import-extcommunity
vpn-target 12479:20001145 import-extcommunity
#
ip vpn-instance RAN_LTE_VX1291RT1
description RAN_LTE_VX1291RT1
ipv4-family
route-distinguisher [redacted]:20005
vpn frr
tnl-policy RAN_LTE_VX1291RT1
apply-label per-instance
vpn-target 12479:45001 export-extcommunity
vpn-target 12479:20001145 export-extcommunity
vpn-target 12479:45001 import-extcommunity
vpn-target 12479:20001001 import-extcommunity
vpn-target 12479:20001145 import-extcommunity
```

Figura 37. Definición de VRFs de VX1291RT1

Para continuar con este paso a Seamless, debemos habilitar como peer BGP-LU los POP provinciales, en nuestro caso los equipos VX0182RA3-VA0182RA4. Además, para que todo funcione correctamente, hay que configurar como peer vpnv4 a VXQURDN1/2. Estos equipos son routers BBIP (“Backbone IP”), es decir de lo que llamamos core de la red, y hacen función de ABR (ver Figura 7 sobre la topología de arquitectura Seamless).

BGP VPN Instance Name	Peer Address	Peer Group	Peer AS Number	Description	Source Interface Name
public		VPNv4_L2RR	12479	VXQURDN1	LoopBack0
public		VPNv4_L2RR	12479	VXQURDN2	LoopBack0
public		ABR_BGPLU_L2RR	12479	VX0182RA3	LoopBack0
public		ABR_BGPLU_L2RR	12479	VX0182RA3	LoopBack0

Figura 38. Definición de VRFs de VX1291RT1

Las “tunnel-policy” de los equipos con Seamless MPLS son distintas a las que hemos visto anteriormente en VX1291RT1. Lo que significa esa línea de comando es que el sistema elegirá el túnel LSP que tenga prioridades más altas y que este disponible. En este caso, al tener únicamente dos rutas, se utilizará una de principal y otra de protección, por eso vemos que en este caso no se realizará ningún tipo de balanceo de carga o “load balance”

```
tunnel-policy BGP-LU
 tunnel select-seq cr-lsp lsp load-balance-number 1 unmix
#
tunnel-policy RAN_5G_VX1291RT1
 tunnel select-seq cr-lsp lsp load-balance-number 1 unmix
#
tunnel-policy RAN_LTE_VX1291RT1
 tunnel select-seq cr-lsp lsp load-balance-number 1 unmix
#
tunnel-policy VPN_GESTION_VX1291RT1
 tunnel select-seq cr-lsp bgp ldp load-balance-number 1 unmix
#
tunnel-policy VRF_ALL_VX1291RT1
 tunnel select-seq cr-lsp lsp load-balance-number 1 unmix
```

Figura 39. Tunnel-policy de VX1291RT1

Con todo esto, tenemos configurado todo para crear nuestro túnel LSP, con ruta principal y de protección. En la Figura 40 podemos ver su nomenclatura y su topología. El camino principal es el marcado con líneas continuas. Importante destacar las direcciones de las flechas, ya que estos túneles son bidireccionales por definición, ya que sustentan tráfico tanto de bajada como de subida.

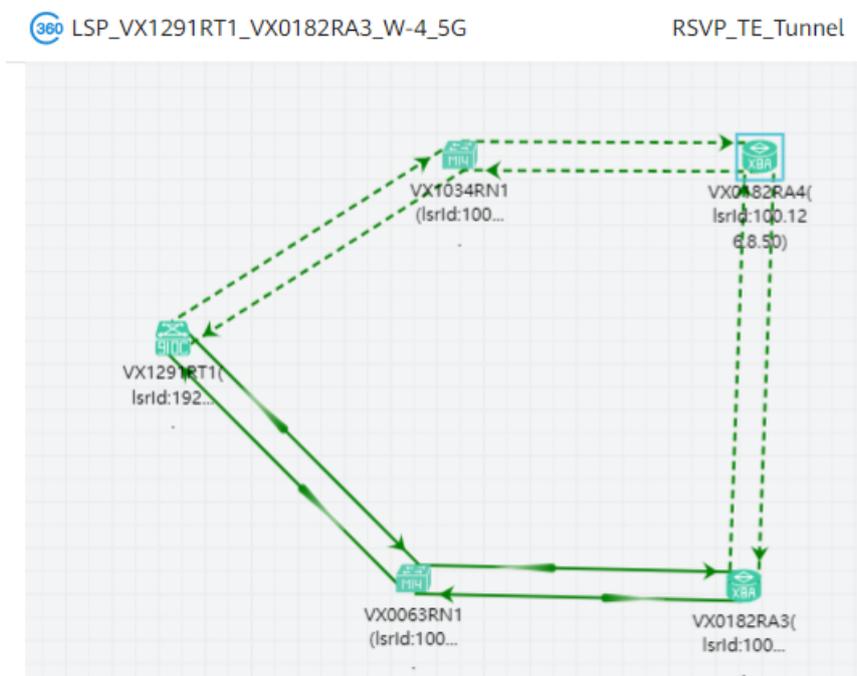


Figura 40. Topologías túnel LSP de VX1291RT1

En las siguientes tablas podemos ver las interfaces de entrada y de salida de los distintos equipos que forman parte de la ruta de la red de agregación hasta el POP.

RUTA PRINCIPAL

Hops	NE Name	Interface Name	Interface Type	Interface IPAddress*
0	VX1291RT1	Eth-Trunk10.5	Outbound	100.1.1.2
1	VX0063RN1	Eth-Trunk28.5	Inbound	100.1.1.1
2	VX0063RN1	Eth-Trunk10.5	Outbound	100.2.1.2
3	VX0182RA3	Eth-Trunk19.5	Inbound	100.2.1.1

Tabla 6. Ruta principal túnel LSP de VX1291RT1

RUTA PROTECCIÓN

Hops	NE Name	Interface Name	Interface Type	Interface IPAddress*
0	VX1291RT1	Eth-Trunk20.5	Outbound	100.3.1.2
1	VX1034RN1	Eth-Trunk29.5	Inbound	100.3.1.1
2	VX1034RN1	Eth-Trunk20.5	Outbound	100.4.1.2
3	VX0182RA4	Eth-Trunk14.5	Inbound	100.4.1.1
4	VX0182RA4	Eth-Trunk2.1205	Outbound	100.5.1.2
5	VX0182RA3	Eth-Trunk2.1205	Inbound	100.5.1.1

Tabla 7. Ruta de protección túnel LSP de VX1291RT1

9.3 Monitorización del trabajo

Antes, durante y tras el trabajo se monitoriza que el tráfico implicado, en este caso únicamente del nodo VALX1291. Tras la implementación, todo quedó correctamente implementado, y podemos contar con un nuevo punto en esta red bajo la arquitectura Seamless MPLS.

Es destacable el hecho el cuál tras la actualización del equipo, se disminuyó la latencia de la tecnología 4G del nodo VALX1291 sobre unos 5 ms. En la gráfica de la izquierda de la Figura 41 podemos ver este descenso de en este latencia justo en el momento de la implementación.

Estas medidas se obtienen mediante la toma de datos de gestores de Huawei (antes y después de la implementación), los cuales recaban ciertos datos sobre el tráfico del nodo el cual estaba implicado en nuestro paso a Seamless. (en este caso la latencia de la tecnología 4G).

Echando un vistazo a la gráfica de la derecha vemos que este descenso latencia se ha mantenido hasta actualmente.

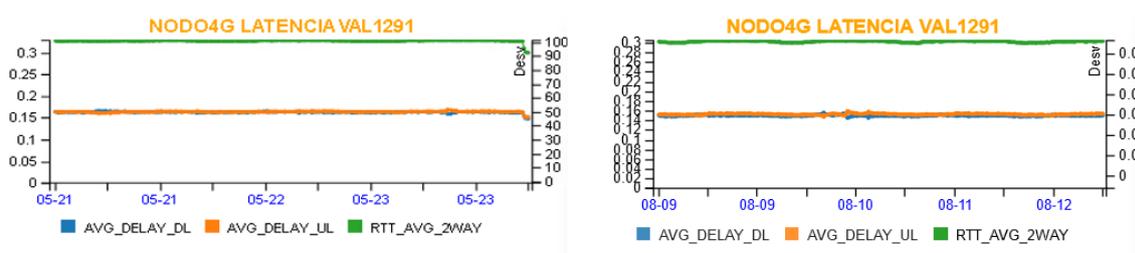


Figura 41. Latencia previa y posterior al paso a Seamless de VX1291RT1

Cabe destacar que este trabajo es un paso hacia una red Seamless MPLS extremo a extremo. En este caso, hemos pasado un punto de la red, por lo que la mejora principal que podemos observar es sobre todo de latencia; pero no es un cambio en toda la arquitectura. Actualmente, siguen conviviendo ambos protocolos. Este capítulo se centraba sobre todo en la descripción de una configuración Seamless en un caso real.

Capítulo 10. Conclusiones

En este trabajo se ha realizado una descripción teórica sobre la arquitectura Seamless MPLS extremo a extremo, así como comparado su funcionamiento con una solución MPLS convencional. Con esto, hemos investigado las limitaciones de la red con distintos dominios de MPLS en distintas capas de la red y explorado la solución de extender esta misma arquitectura integrando las redes de acceso, agregación y core dentro de un mismo dominio.

Se han indicado retos existentes en las redes actuales y se ha descrito como una solución con esta nueva arquitectura de red podría conseguir salvarlos y dar mejor rendimiento. Ejemplo de estos desafíos son:

- El problema de despliegue de servicios mayoristas cuando los distintos operadores competidores no tiene localizados los equipos en el mismo lugar físico

- La tan importante y creciente conectividad inter áreas metropolitanas en empresas mediante líneas alquiladas.

- El reto del avance actual gradual hacia una red común fija y móvil (Fixed-Mobile Convergence)

Se ha descrito como una solución con esta nueva arquitectura de red podría conseguir salvarlos y dar mejor rendimiento en

Además, hemos comparado la mejora en cuanto parámetros de calidad de servicio (QoS) mediante una simulación en un entorno virtual, de la que hemos deducido:

- Seamless MPLS mejora el funcionamiento de la red utilizando nuevos protocolos como BGP-LU, LDP DoD, etc.

- Comparada con la solución convencional, SMPLS aumenta mucho el rendimiento de throughput y en casos de envío de archivos de una red a otra, notándose más este efecto cuanto mayor sea el tamaño del archivo y más congestionada esté la red.

- Se observa una reducción considerable de retraso de paquetes o latencia utilizando esta solución Seamless, lo cual con la nueva generación de comunicaciones móviles es imprescindible.

- Notable también el perfeccionamiento de la red en otros parámetros como pérdida de paquetes o jitter.

Finalmente, se ha descrito y desarrollado el proceso de diseño e implementación de un paso a Seamless de un router perteneciente a la red de agregación de un operador nacional. Para ello se ha profundizado en los cambios más relevantes en cuanto a la configuración del equipo, descubriendo como es el despliegue real de este protocolo de enrutamiento.

De esta manera, hemos explorado como funciona de manera práctica esta arquitectura: desarrollando las modificaciones en las interfaces y subinterfaces, en las VRF de nuestro router, en los túneles LSP y atendiendo siempre al tráfico de la estación base existente en el mismo emplazamiento.

En general, se han cumplido los objetivos establecido al comienzo del trabajo. Se ha revisado la teoría del protocolo a desarrollar, se han destacado ciertas ventajas para las futuras redes de las próximas generaciones de comunicaciones móviles, se ha profundizado en la mejora en cuanto a calidad de servicio (QoS) para los usuarios de la red y se ha realizado la descripción del trabajo práctico llevado a cabo con un ejemplo real, encargado por un operador nacional.



Capítulo 11. Trabajos Futuros tras paso a Seamless

Después de lo trabajos tenemos un ATN en configuración Seamless, con dos rutas de fibra óptica hacia el POP de la provincia de Valencia. De este ATN cuelga un solo nodo, el cual radia las tecnologías 2G/3G/4G/5G.

En un futuro, es posible que otros nodos llegaran a nuestro emplazamiento FTTN, por medio de radioenlaces. En el caso de que crezca el número de nodos crezca, se contemplaría la adición de nuevas rutas LSP para la red de agregación. Éstas podrían ser, creando nuevas conexiones con obra de fibra óptica; o llegando hacia otros emplazamientos FTTN y haciendo uso de sus rutas.

En el caso de que surjan nuevas rutas, también se podría comenzar un estudio de balance de carga, y dependiendo de la capacidad y estabilidad de otras rutas (rutas por fibra más fiables que rutas por radioenlaces), proponer distintas prioridades. En el capítulo anterior hemos visto que según de las políticas de túnel del sistema, cada una de las VRF elige el túnel por el que enrutar el tráfico según estas prioridades.

Si el número de nodos aumentara en mayor medida, se valoraría la posibilidad de realizar un “swap” del ATN sobre el que hemos diseñado e implementado el paso a Seamless MPLS e instalar un equipo de fibra con mayor capacidad; como por ejemplo algún modelo de NetEngine de Huawei (NE40E, NE8000, etc).

Capítulo 12. Bibliografía

- [1] Cisco Systems, Inc. “*Multiprotocol Label Switching Architecture*”
<https://www.ietf.org/rfc/rfc3031>.
- [2] Moris. FS Community. “*VPN vs MPLS: ¿Qué diferencia hay?*”
<https://community.fs.com/es/blog/vpn-vs-mpls-difference.html>
- [3] RC RouterCtrl. “*What is Local Loop Unbundling? (Local Loop Unbundling Explained)*”
<https://routerctrl.com/local-loop-unbundling/>
- [4] Ewan Sutherland “*FIXED-MOBILE CONVERGENCE*”, 2007
- [5] N. Leymann, Ed.; B. Decraene.; M. Konstantynowicz, Ed.; D. Steinberg. “*Seamless MPLS Architecture*” <https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-ietf-mpls-seamless-mpls-07>
- [6] Huawei Technologies Co. “*Technical White Paper for Seamless MPLS Networking*”
<http://www.hit.bme.hu/~jakab/edu/litr/Core/MPLS/hw-076762.pdf>
- [7] Huawei Technologies Co. “*Understanding Seamless MPLS*”
<https://support.huawei.com/enterprise/en/doc/EDOC1100301728/28ecd062>
- [8] Habtamu Kumera. “*Analysing Impact of Seamless MPLS on QoS*”, 2018
- [9] Huawei Technologies Co. “*ATN 910 Series*” <https://carrier.huawei.com/en/products/fixed-network/carrier-ip/router/atn/atn910>
- [10] Huawei Technologies Co. “*Introducción a Huawei BBU5900*”
<https://forum.huawei.com/enterprise/es/introducci%C3%B3n-a-huawei-bbu5900/thread/667241498770554880-667212889045479424>