

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de las Tecnologías de
Telecomunicación

Migración de las tecnologías 2G/3G/4G a la
tecnología 5G en equipos que se encuentran en anillo

Autora: Manuela Yuste López

Tutoras: Begoña Acha Piñero y María del Carmen Serrano
Gotarredona

Dpto. Teoría de la Señal y Comunicaciones
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías de Telecomunicación

Migración de las tecnologías 2G/3G/4G a la tecnología 5G en equipos que se encuentran en anillo

Autora:

Manuela Yuste López

Tutoras:

Begoña Acha Piñero

Catedrática de Universidad

María del Carmen Serrano Gotarredona

Catedrática de Universidad

Dpto. de Teoría de la Señal y Comunicaciones

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023

Trabajo Fin de Grado: Migración de las tecnologías 2G/3G/4G a la tecnología 5G en equipos que se encuentran en anillo

Autora: Manuela Yuste López
Tutoras: Begoña Acha Piñero y María del Carmen Serrano Gotarredona

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

El Secretario del Tribunal

Fecha:

Agradecimientos

A mis padres y mi suegra, por confiar en mí cuando ni yo misma lo he hecho, por haberme alentado siempre a crecer y por soportar mis malos momentos.

A ti, Jose, por aguantarme día tras día, acompañarme en este camino sin importar lo que pasase, ser mi apoyo siempre, guiarme, darme ese empujoncito final y mostrarme la luz en los momentos más difíciles.

A mis compañeros de batalla que se han convertido en amigos.

Y, por último, agradecer a mis tutoras por haberme guiado en esta etapa final.

Gracias a todos por estar ahí siempre

Sevilla, 2023

Resumen

Este proyecto de Migraciones de tecnologías compone el Trabajo de Fin de Grado correspondiente a la titulación Grado en Ingeniería de las Tecnologías de Telecomunicación por la Universidad de Sevilla.

Se va a realizar un estudio de la red para migrar las tecnologías 2G/3G/4G a la nueva tecnología 5G. El objetivo es conseguir una mayor velocidad de conexión con una latencia más baja favoreciendo así una mejor comunicación entre miles de millones de dispositivos conectados a la red.

Para hacer esto posible es necesario cambiar los equipos que se encuentran funcionando actualmente por otros más potentes que soportan la nueva tecnología. Esto implica una integración en la red de los mismos, por lo que será necesario asignarles diferentes tipos de IPs (IP: *Internet Protocol*) para identificarlos y que se puedan comunicar con otros elementos de la red. Haremos un estudio de la red para ver si podemos conservar las mismas rutas o buscar nuevas, y realizaremos *clean-up* de todo aquello que ya no se vaya a usar.

Con el objetivo de que el proceso quede bien ilustrado se expondrá un caso práctico donde los equipos a migrar se encuentran conectados en anillo, presentándose el reto de realizar las nuevas conexiones por fases para evitar la caída del servicio.

Abstract

This technology migration project is part of the Final Degree Project corresponding to the Degree in Telecommunication Technologies Engineering from the University of Seville.

A network study will be carried out to migrate 2G/3G/4G technologies to the new 5G technology. The objective is to achieve a higher connection speed with a lower latency, thus favoring a better communication between billions of devices connected to the network.

To make this possible it is necessary to change the equipment currently in operation for more powerful ones that support the new technology. This implies their integration into the network, so it will be necessary to assign them different types of IPs (IP: Internet Protocol) to identify them and allow them to communicate with other elements of the network. We will make a study of the network to see if we can keep the same routes or look for new ones, and we will perform a clean-up of everything that will no longer be used.

In order to illustrate the process, a practical case will be presented where the equipment to be migrated is connected in a ring, presenting the challenge of making the new connections in phases to avoid service downtime.

Índice

| | |
|---|------------|
| Agradecimientos | vii |
| Resumen | ix |
| Abstract | xi |
| Índice | xii |
| Índice de figuras | xiv |
| 1 Introducción a la Tecnología 5G | 1 |
| 1.1 ¿Qué es la tecnología 5G? | 1 |
| 1.2 ¿Cómo funciona el 5G? | 2 |
| 1.3 Protocolos de red | 4 |
| 1.4 Protocolos usados en la tecnología 5g (ipv6, isis, bgp) | 7 |
| 1.5 Usos de la tecnología 5G | 11 |
| 1.6 Ventajas y desventajas del 5G..... | 12 |
| 2 Fibra óptica ¿Qué es? ¿Cómo funciona? | 13 |
| 2.1 ¿Qué es la fibra óptica?..... | 13 |
| 2.2 Funcionamiento de la fibra óptica | 14 |
| 2.3 Ventajas y desventajas de la fibra óptica | 16 |
| 3 Aspectos involucrados en la migración | 17 |
| 3.1 Equipos..... | 17 |
| 4 Caso práctico | 23 |
| 4.1 Estudio del escenario a nivel lógico | 24 |
| 4.2 Estudio del escenario a nivel físico..... | 25 |
| 4.3 Análisis del escenario para el PT2 | 25 |
| 4.4 Cómo se dividen las IPs y cómo asignarlas..... | 28 |
| 4.5 Análisis del escenario para el PT3 | 32 |
| 4.6 Cómo reservar una vlan y cómo asignarla | 34 |
| 4.7 Análisis del escenario para el PT1 | 37 |
| 5 Conclusiones y mejoras | 38 |
| 5.1 Ventajas y desventajas..... | 39 |
| 5.2 Líneas futuras | 41 |
| Referencias | 45 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Comunicación móvil continua | 3 |
| Figura 2. Esquema de red 5G | 3 |
| Figura 3. Protocolo de red | 6 |
| Figura 4. Funcionamiento de la red desde “Red Física” hasta la “Capa de Aplicación” | 6 |
| Figura 5. Funcionamiento IPV6 | 8 |
| Figura 6. Funcionamiento del protocolo BGP | 9 |
| Figura 7. Adyacencia entre routers | 11 |
| Figura 8. Partes de una fibra óptica | 14 |
| Figura 9. Transceptor SFP | 16 |
| Figura 10. Interfaces de un equipo PTN | 18 |
| Figura 11. Interfaces de un ATN | 18 |
| Figura 12. Interfaces de NE8000 | 19 |
| Figura 13. Interfaces equipos NE40 | 19 |
| Figura 14. Interfaces equipos radio | 20 |
| Figura 15. Interfaces de un Lan Switch | 20 |
| Figura 16. Arquitectura protocolo MPLS | 38 |
| Figura 17. Mapa de cobertura American Tower | 41 |
| Figura 18. Mapa de cobertura de Cellnex | 42 |

Acrónimos

| ABREVIATURA | SIGNIFICADO |
|-------------|---|
| IP | <i>Internet Protocol</i> |
| SMS | <i>Short Message Service</i> |
| GSM | <i>Global System For Mobile</i> |
| UMTS | <i>Universal Mobile Telecommunications System</i> |
| FDMA | <i>Frequency Division Multiple Access</i> |
| CDMA | <i>Code Division Multiple Access</i> |
| MIMO | <i>Múltiples Entradas y Múltiples Salidas</i> |
| TCP | <i>Tranmission Control Protocol</i> |
| UDP | <i>User datagram protocol</i> |
| MAC | <i>Dirección física</i> |
| VLAN | <i>Virtual Local Area Networks</i> |
| BGP | <i>Border Gateway Protocol</i> |
| SPF | <i>Shortest-Path-First</i> |
| CSNP | <i>Complete Secuence Number Packet</i> |
| IoT | <i>Internet of Things</i> |
| CW | <i>Continuous Wave</i> |
| SFP | <i>Small form-Factor Pluggable transceiver</i> |
| LC | <i>Link Conection</i> |
| MPLS | <i>Multiprotocol Label Switching</i> |
| TDM | <i>Time Division Multiplexing</i> |
| VLL | <i>Voice Leased Line</i> |
| POP | <i>Point of Presence</i> |
| LSP | <i>Label Switched Path</i> |
| PLC | <i>Power Line Comunication</i> |
| DHCP | <i>Dynamic Host Configuration Protocol</i> |
| DNS | <i>Domain Name System</i> |
| IGP | <i>Interior Gateway Protocol</i> |
| OSPF | <i>Open Shortest Path First</i> |

1 Introducción a la Tecnología 5G

1.1 ¿Qué es la tecnología 5G?

Hace referencia a la quinta generación de redes móviles. Antes de explicar su funcionamiento y uso vamos a hacer un recorrido por las distintas tecnologías que la preceden [1]:

- 1G: se trata de un servicio básico de voz, basado en la tecnología analógica por lo que solo se podían realizar y recibir llamadas.
- 2G: en esta generación se da un salto a la tecnología digital, pudiendo realizar llamadas y haciendo uso del nuevo servicio SMS (*Short Message Service*). Se pasa de 56kbit/s a 114kbit/s. Todo esto mediante la utilización del protocolo GSM (*Global System For Mobile*).
- 3G: en esta tercera generación al servicio de voz hay que sumarle el acceso a Internet, permitiendo la transmisión de datos a alta velocidad (384kbit/s). Todo esto mediante la utilización del protocolo UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*).
- 4G: se consigue una transmisión de voz y datos a alta velocidad (100Mbit/s-1Gbit/s). Esta generación está basada en el protocolo IP, utilizando la convergencia entre las redes cableadas e inalámbricas. Cabe destacar tres ventajas que resaltan sobre el resto de las generaciones: la velocidad de acceso es mucho mayor, conseguimos seguridad de extremo a extremo y con un mínimo coste.

Como bien hemos dicho al principio, el 5G se trata de la nueva generación de redes móviles, pero después de haber hecho un recorrido por cada una de las generaciones que la preceden, ¿qué aporta el 5G?

Esta nueva tecnología permite navegar a una velocidad de 10Gbps, con ella se conseguirá disminuir la latencia en la red, es decir, un menor tiempo de respuesta que se ve traducido a una conexión en tiempo real y además favorecerá al aumento del número de dispositivos conectados a la red simultáneamente gracias a la arquitectura de red en la que se basa [1].

Las principales características de esta nueva generación serían:

- Aumento de velocidad de transmisión (ultra banda ancha)
- Disminución del tiempo de respuesta (menor latencia)
- Aumento del número de dispositivos conectados a la red
- Reducción del consumo energético de los dispositivos

1.2 ¿Cómo funciona el 5G?

El funcionamiento del 5G está basado en redes de celda o red celular.

Se trata de redes formadas por celdas de radio, cada una de ellas dispone de un transmisor (estación base). Con su uso se pretende conseguir cobertura en un área más grande al ocupado por una única celda.

Para que esta red funcione es necesario que cada estación distinga la señal de su transmisor de las de otros adyacentes, esto se consigue con dos soluciones [2]:

- FDMA (*Frequency Division Multiple Access*): se usan frecuencias diferentes entre celdas vecinas.
- CDMA (*Code Division Multiple Access*): se le asigna un código ortogonal único a cada equipo terminal, consiguiendo que no haya interferencias entre ellos.

En la Figura 1 se puede observar el movimiento de celda o traspaso de la misma. Aquí cobra sentido el uso de múltiples celdas, por ejemplo, si se tiene una comunicación continua que no puede dar lugar a interrupciones entonces debe existir una coordinación entre la estación base y la móvil. Haciendo uso de las diferentes formas de acceso múltiple se conseguirá anticipar el estado de traspaso a la nueva celda reservando un canal en la misma y consiguiendo así que la comunicación continúe en la nueva estación base.

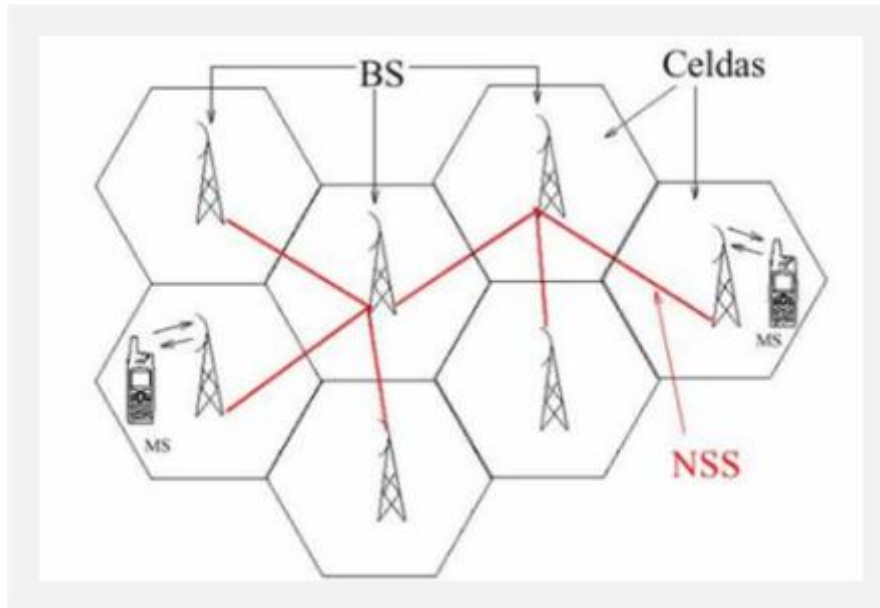


Figura 1: Comunicación móvil continua [3]

De forma general el 5G hace uso de estas redes mediante la conexión de los dispositivos a Internet y a la red telefónica por ondas de radio mediante una antena de la celda.

El esquema que sigue la nueva generación tecnológica sería el siguiente:

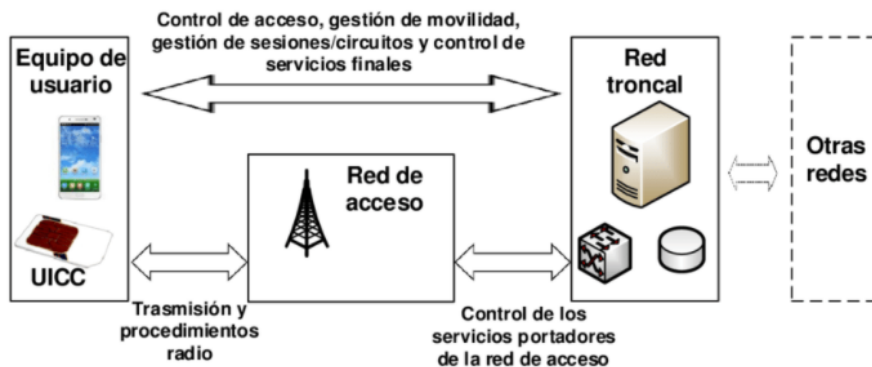


Figura 2: Esquema de red 5G [4]

Los diferentes dispositivos que soportan la tecnología 5G se encuentran conectados a los nodos existentes en el borde de la red de acceso a través de los cuales les llegan los datos generados por estos y se traspasa a la red troncal la cual es la encargada de enviar los datos o entregar los servicios que se están solicitando al servidor.

Para entender mejor la cadena entre las distintas redes vamos a definir cada una de ellas:

- **Red de acceso por radio (RAN):** son redes fijas, y para poder hacer uso de ellas se define un punto geográfico fijo al cual se conectará el usuario y desde donde el proveedor del servicio podrá prestar conexión a través de cable, el cual puede ser par de cobre, cable coaxial o fibra óptica. La red principal se divide en pequeñas celdas que permiten la conexión entre usuarios móviles y dispositivos. Es decir, con el objetivo de conseguir una conexión continua se distribuyen pequeñas celdas que serán agrupadas en racimos dependiendo de la demanda de usuarios que necesiten conexión. A mayor número de usuarios se necesitará un mayor número de celdas, lo que dará lugar a las Macrocelas 5G. Éstas usarán antenas MIMO (*múltiples entradas y múltiples salidas*), también conocidas como MIMO masivas debido al gran número de antenas de múltiples, elementos y conexiones, que permitirán múltiples conexiones para enviar y recibir más datos simultáneamente. Por tanto, con este tipo de redes se busca la conexión de múltiples usuarios a la red de forma simultánea con una alta velocidad de transferencia [5].
- **Red troncal:** es la red móvil de comunicaciones y de datos que administra todas las conexiones móviles de voz, datos e Internet. En el caso de 5G, se está rediseñando para una mayor integración con Internet y los servicios con base en la nube e incluirá servidores distribuidos a lo largo de la red (reduciendo la latencia) con el fin de mejorar, los tiempos de respuesta [6].

Por tanto, cuando se establece una conexión 5G, el equipo del usuario (o el dispositivo) se conectará a las dos redes, a la 4G para proporcionar el control de la señalización y a la 5G para ayudar a proveer de la conexión veloz de datos, sumándose así a la capacidad de la red 4G existente. Donde hay cobertura limitada de 5G, los datos son transportados, de la misma manera que hoy, por la red 4G permitiendo así una conexión continua. La red 5G estará complementando a la red 4G existente, esencialmente, con este diseño.

1.3 Protocolos de red

Para entender mejor los protocolos usados en la tecnología 5G es necesario explicar los antecesores de estos y cómo surge el concepto de protocolo.

Los protocolos son conjuntos de normas y procedimientos que deben seguir los mensajes de una red para poder intercambiar información en la misma. El objetivo es que cada máquina responsable de la comunicación siga estas normas y que el sistema principal pueda interpretar cada mensaje [7].

Según se muestra en la Figura 3, los protocolos se dividen según las capas en donde se definan, las cuales son (de arriba abajo):

1) CAPA DE APLICACIÓN: en esta capa se encuentran los protocolos que proporcionan servicios de usuario o intercambian datos de aplicaciones a través de las conexiones de red haciendo uso de los protocolos de las capas inferiores. Esto hace que disponga de servicios básicos de soporte de red, como protocolos de enrutamiento y configuración de host. Este es el último peldaño para lanzar los datos a la red, por lo que aquí llegarán encapsulados en unidades de protocolo de la capa de transporte (TCP/UDP), los cuales a su vez harán uso de las capas inferiores para efectuar la transferencia de datos [7].

2) CAPA DE TRANSPORTE: se establece la conectividad de punto a punto en forma de servicios de transferencia de mensajes de extremo a extremo independientes de las redes subyacentes.

Esta capa tiene dos tipos de conexiones: orientada a la conexión como es el TCP (*Transmission Control Protocol*), o no orientada a la conexión como es el UDP (*User datagram protocol*). Los protocolos de esta capa pueden proporcionar control de errores, segmentación, control de flujo, control de congestión y direccionamiento de aplicaciones.

Se pretende que haya canales de transmisión específicos, por lo que esto da lugar al puerto de red. Esto hace que cada uno de los canales de comunicación tenga un número de puerto asignado, de tal forma que un *host* cliente es capaz de atender servicios específicos de un *host* servidor sin que por medio tenga la necesidad de comunicarse con servicios de directorio.

TCP es un protocolo orientado a la conexión con un mayor flujo de *bytes* y por lo tanto con mayor seguridad que UDP (no orientado a conexión) ya que [7]:

- Los datos llegan ordenados.
- Los datos tienen la cantidad mínima de errores.
- No llegan duplicados.
- Se asegura que los paquetes llegan a su destino.
- Incluye control de congestión de tráfico.

3) CAPA DE INTERNET: en esta capa se determina la mejor ruta de acceso a la red. Aquí los paquetes se encapsulan dentro de un paquete IP, los cuales llevarán como cabecera la IP de cada host [7].

4) CAPA DE ACCESO AL MEDIO: en esta capa se controla los dispositivos hardware y los medios de la red. Aquí en lugar de transportar paquetes se transportan tramas, donde se encapsulan paquetes IP, la cual lleva la información de la dirección física (MAC (*Media Access Control Address*)) [7].

5) RED FÍSICA: adaptador Ethernet que mantiene en contacto al equipo con la red [7].

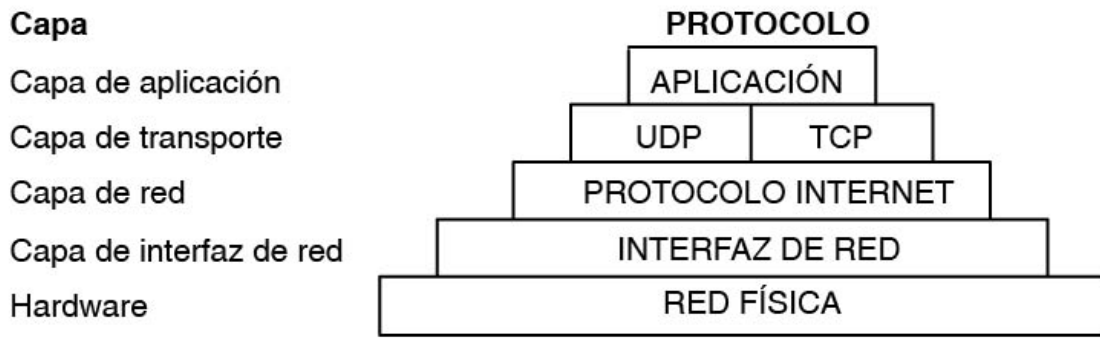


Figura 3: Protocolo de red [8]

El funcionamiento del protocolo sería el siguiente: la capa de interfaz de red recibe las tramas. Esta quita la cabecera Ethernet y envía el datagrama hacia arriba hasta la capa de red. En esta capa, el protocolo de internet quita la cabecera IP y envía el paquete hacia arriba hasta la capa de transporte. Una vez aquí, TCP (en este caso), quita la cabecera TCP y envía los datos hacia arriba hasta la capa de aplicación.

Los sistemas principales de una red envían y reciben información simultáneamente. Por lo que de forma repetitiva el funcionamiento de la red consiste en que cada capa quita la información de cabecera correspondiente, hasta que los datos regresan a la capa de aplicación.

Esta información la encontramos representada en la Figura 4:

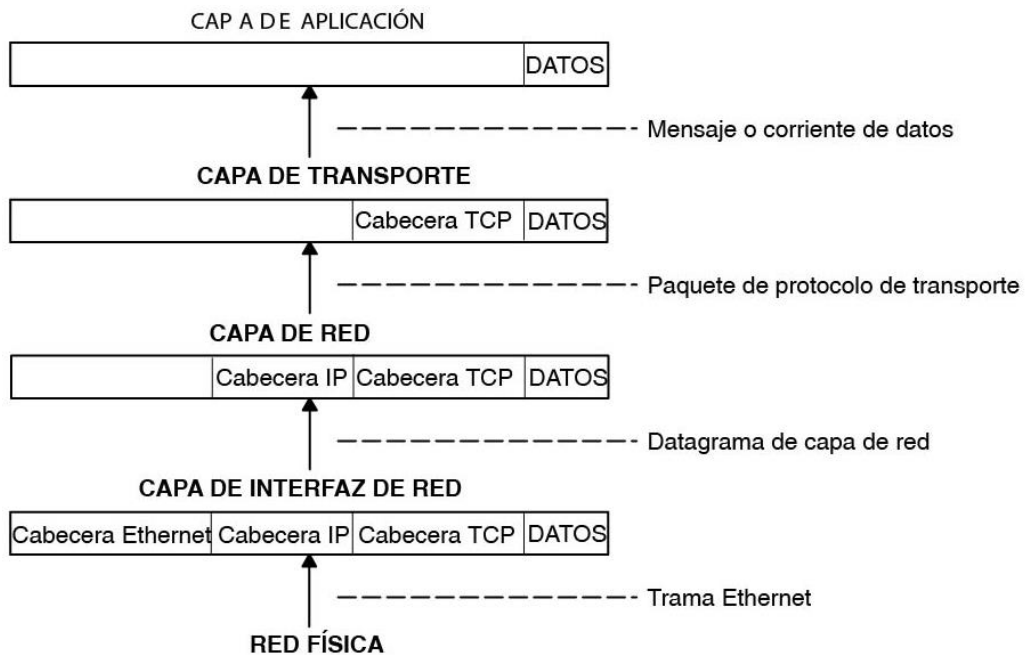


Figura 4: Funcionamiento de la red desde “Red Física” hasta la “Capa de Aplicación” [9]

Atendiendo a los equipos usados en la red, las capas que intervienen son unas u otras, un *router* dispondrá de capa 3 pues para enviar paquetes y recibirlos hace uso del

protocolo de enrutamiento, mientras que un *switch* sólo entiende de capa 2, haciendo uso de tramas y de protocolos que utilizan la MAC (dirección física) para poder llegar al destinatario.

Sin embargo, el direccionamiento entre *switches* se lleva a cabo mediante VLANs (*Virtual Local Area Networks*), y no mediante IPs. Lo que permite crear redes lógicas independientes dentro de una misma red física. Es decir, si entre dos equipos móviles existen equipos de fija estos crearán un túnel de VLANs que proporcionará conexión entre ambos, con la excepción de que estos serán totalmente transparentes para ellos.

En un mismo equipo de fija pueden coexistir numerosas VLAN siempre y cuando el ID de cada una de ellas sea distinto.

1.4 Protocolos usados en la tecnología 5g (ipv6, isis, bgp)

A pesar de que la tecnología 5G reutiliza elementos existentes de la red, se han creado nuevos protocolos para poder implantar la nueva generación.

En lo referente al protocolo de red, se pasa del *IPv4* al *IPv6*. En cuanto a los equipos que se van a instalar éstos quedarán configurados con un nuevo protocolo BGP (*Border Gateway Protocol*) e *IS-IS*.

Empezaremos definiendo el protocolo *IPv6*. El *IPv6* es el protocolo de Internet versión 6, que permite conectar diversos dispositivos a Internet, identificándolos con una dirección única.

Una dirección *IPv6* es una etiqueta numérica que se utiliza para identificar un ordenador o red. Estas direcciones, únicas para cada equipo, permiten encaminar paquetes de información entre los distintos *hosts*. Con esto se conseguirá una mayor seguridad, aportando mayor cantidad de direcciones.

De este protocolo podemos resaltar las siguientes características [10]:

- **Mayor número de direcciones IP:** en *IPv6* hay disponibles 128 *bits* para direccionar frente a las 32 de *IPv4*. Al cambiar el tamaño se consigue mayores niveles de jerarquía de direccionamiento, lo que se traduce en un aumento del número de *IPs* disponibles.
- *IPv6* permite que la conexión de los usuarios a la red sea más sencilla, pues al conectar una máquina a la misma, se le puede asignar automáticamente una o varias direcciones *IPv6*.
- **Paquetes IP eficientes:** se consigue gracias a la cabecera de longitud fija de la que disponen. Como consecuencia el *router* será capaz de procesar los datos a mayor velocidad.
- **Autoconfiguración:** esto es posible debido al número de bits de los que dispone una dirección IP. Tenemos 128 bits, de los cuales 64 serán bits superiores (que

serán separados por el *router*) y los restantes serán bits inferiores (que serán separados por la dirección MAC). Al contar con un prefijo de subred de 64 bits la máscara de subred se vuelve innecesaria, favoreciendo así al usuario. Pues la dirección IP ya no tendrá que ser introducida de forma manual, sino que se hará automáticamente.

- **Multihoming:** permite realizar cambios en el formato de numeración, a la vez que se conserva la misma dirección *IP*. Lo que hace más sencillo el cambio entre proveedores del mismo servicio.
- Mejora de la calidad del servicio y mejora en la capacidad de autenticación y privacidad.

Podemos concluir que este protocolo permite mayor conexión de dispositivos a la red mejorando la seguridad de la misma.

En la Figura 5 se muestra el funcionamiento de este protocolo y la diferencia con respecto a su antecesor IPV4:

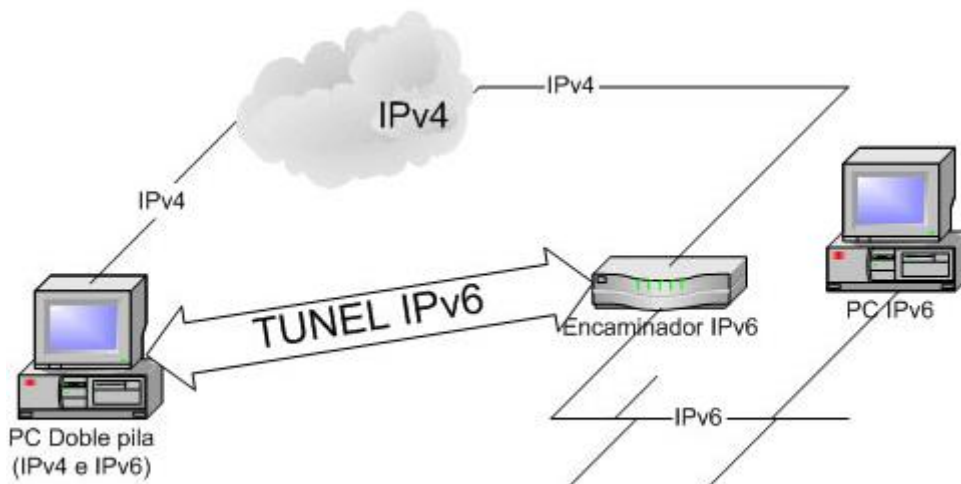


Figura 5: Funcionamiento IPV6 [11]

Al igual que se ha generado un protocolo de red para poder integrar el 5G, también se ha mejorado el protocolo de los dispositivos a instalar [12]:

- **BGP:** es un protocolo encargado de gestionar el enrutamiento de los paquetes a través del intercambio de información de las tablas de enrutamiento y accesibilidad entre los *routers* de borde. BGP dirige los paquetes entre sistemas autónomos (AS), que son redes gestionadas por una única empresa o proveedor de servicios. La información de enrutamiento del BGP incluye la ruta completa a cada destino, además cuando una ruta se cae se encuentra rápidamente una nueva. Con esto consigue crear una estabilidad en

la red ya que se adaptan a los posibles fallos de ruta. Utiliza la información para mantener una base de datos actualizada con el fin de evitar bucles en la red.

La toma de decisiones de BGP están definidas por reglas o políticas de red establecidas por los administradores de la red.

Su funcionamiento se basa en controlar la dirección de los paquetes. Es decir, el protocolo genera una tabla de enrutamiento basada en la información entrante de otros *routers* y en la información almacenada en la base de datos de un servidor (RIB). Este servidor contiene información tanto de los pares externos conectados directamente como de los pares internos, y basándose en las reglas sobre las rutas que deben utilizarse y las que deben publicarse, actualiza continuamente las tablas conforme se van produciendo cambios [12].

Tal y como se muestra en la Figura 6, el BGP aporta estabilidad a la red garantizando la adaptación de los *routers* a la misma, de forma que puede hacer llegar el paquete a través de otra conexión si una ruta se cae. BGP utiliza la topología cliente-servidor para comunicar la información de enrutamiento, siendo el cliente-servidor quien inicia una sesión BGP enviando una solicitud al servidor.

Los problemas más comunes de BGP son los fallos en el intercambio de información. Los intercambios de información no siempre tienen éxito ya que la información puede estar mal formateada o contener datos incorrectos. Los *routers* pueden quedarse sin memoria o almacenamiento, o ser demasiado lentos para responder a las actualizaciones. Los *routers* envían códigos y subcódigos de error para comunicar problemas, como tiempos de espera, solicitudes mal formadas y problemas de procesamiento [12].

Este protocolo ya se usaba entre dispositivos de 4G, pero se ha actualizado adaptándose al *IPv6*, de tal forma que el multiprotocolo (MBGP) define una serie de atributos, que se utilizan para transportar información de accesibilidad *IPv6*. Los mensajes de actualización de la información de accesibilidad de la capa de red llevan prefijos de dirección *IPv6* de rutas factible.

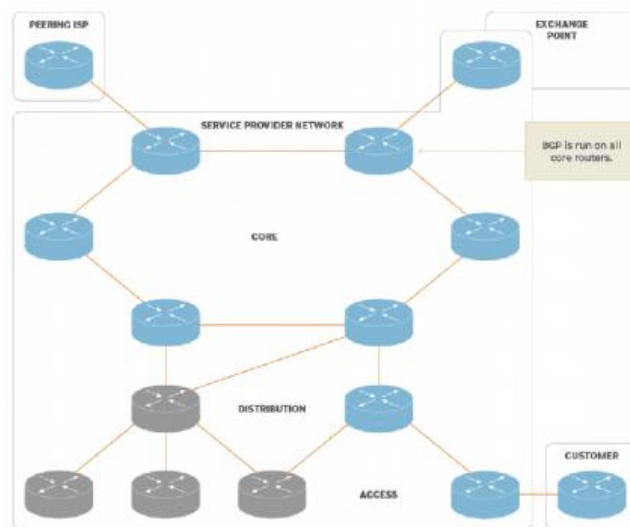


Figura 6: Funcionamiento del protocolo BGP [13]

- **IS-IS:** es un protocolo de puerta de enlace interior (IGP (*Interior Gateway Protocol*)) que utiliza el algoritmo SPF (*Shortest Path First*) para determinar las rutas.

IS-IS utiliza paquetes de saludo que permiten que la convergencia de la red ocurra rápidamente cuando se detectan cambios en la misma. Con SPF, IS-IS evalúa los cambios de topología de la red y determina si se requiere un cálculo de ruta completo o parcial [14].

Encontramos dos niveles de jerarquía en el protocolo IS-IS [14]:

- 1) El **Nivel 1** corresponde al enrutamiento dentro del área OSPF (*Open Shortest Path First*), es decir, aquí sólo se puede ver las rutas internas a ese Nivel 1, las redistribuidas en el mismo y la ruta por defecto para salir al Nivel 2.
- 2) El **Nivel 2** corresponde al enrutamiento del Área 0 de la red troncal OSPF. Las áreas de nivel 2 unen todas las áreas. El dominio Nivel 2 en IS-IS tiene que ser contiguo, como en OSPF, es decir, no podemos tener un dominio Nivel 1 separando dos dominios Nivel 2. Cada enrutador Cisco viene de forma predeterminada como enrutador de nivel 1-2 (L1/L2) para permitir una fácil configuración e implementación.

Los *routers* que tienen interfaces en L1 y en L2 son *routers* L1L2. Aquí es donde tenemos el punto de salida del dominio L1 al dominio L2. En el caso de haber en un dominio L1 varios *routers* L1L2, el punto de salida será el más próximo al origen, es decir, no tiene por qué haber sólo uno.

El protocolo funciona de la siguiente forma: un enlace punto a punto conecta dos *routers*. En este momento se envía un paquete "Hello" y cuando este haya sido recibido, ambos extremos declaran el otro extremo como alcanzable. A partir de aquí los *routers* son adyacentes. Una vez son adyacentes se envían CSNP (*Complete Sequence Number Packet*), el cual describe cada enlace en la BBDD (*Base de Datos*) de estado del enlace. Los CSNP se envían en enlaces punto a punto cuando el enlace se levanta para sincronizar las BBDD de estado del enlace.

El CSNP consiste en una lista de enlaces que existen en la BBDD del enlace. Si un *router* no escucha el "Hello" del adyacente, al llegar al *holtime* (30 segundos), entonces se borrará el *router* de la BBDD del enlace [14].

En la Figura 7 vemos cómo un enrutador de Nivel 1 puede convertirse en adyacente al enrutador de Nivel 1 y Nivel 1-2 (L1/L2). Un enrutador de nivel 2 puede convertirse en adyacente con un enrutador de nivel 2 o de nivel 1-2 (L1/L2). No hay adyacencia entre el enrutador solo L1 y solo L2.

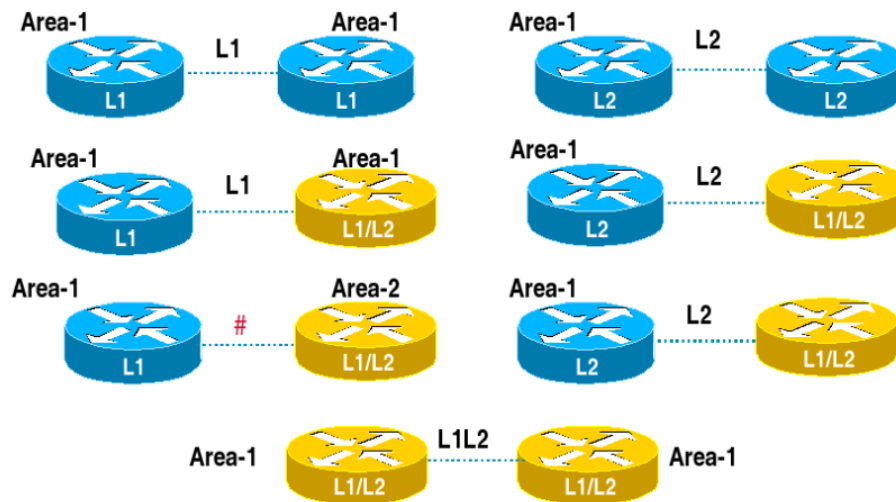


Figura 7: Adyacencia entre routers [15]

Los equipos que vamos a usar en nuestro ejemplo serán de Nivel 1 y 2 (L1/L2). Tenemos equipos que van a poder comunicarse con otros que se encuentran en áreas distintas mientras que otros solo se podrán comunicar con los de su misma área.

En resumen, el protocolo IS-IS divide la red por áreas de tal forma que, dependiendo del tipo de equipo, éste sólo tendrá acceso a su área o a todas, esto facilita la integración de la tecnología 5G en la red. Recordemos que no se produce un cambio brusco en la red actual, sino que se adaptarán los equipos nuevos a la red que ya se encuentra en uso.

Esto hace que se convierta en un protocolo que destaca por:

- Esquema de direccionamiento grande.
- Esquema de direccionamiento jerárquico.
- Eficiente, permitiendo una convergencia rápida y precisa y poca sobrecarga en la red con alta capacidad de escalado.

1.5 Usos de la tecnología 5G

Teniendo en cuenta el uso que hace la tecnología 5G de la red y su funcionamiento, así como las mejoras que aporta, podemos definir tres sectores en los que va a tener impacto [16]:

- 1) **Para las comunidades**, como ya hemos dicho el 5G permite la conexión de miles de millones de dispositivos de manera simultánea, lo cual permitirá el

crecimiento de ciudades y vehículos inteligentes, así como mejoras en la sanidad y educación.

- 2) **Para los negocios y la industria**, 5G e IoT (*Internet of Things*) proporcionarán una riqueza de datos tal que les permitirá ganar introspección en sus operaciones. Los negocios realizarán operaciones y tomarán decisiones en función de los datos, habrá innovaciones en la agricultura, así como granjas y manufacturas inteligentes, allanando el camino para ahorrar costos, mejorar la experiencia del cliente y el crecimiento en el largo plazo.
- 3) **Tecnologías Nuevas y Emergentes** tales como realidad virtual y aumentada.

1.6 Ventajas y desventajas del 5G

Empezaremos definiendo las ventajas que nos aporta la tecnología 5G [17]:

- Velocidad de usuario: se aumentará 10 veces, es decir, si la tecnología 4G contaba con 10 MB/s (Megabit por segundo) la 5G aumenta hasta 100 MB/s.
- Movilidad: el 4G tenía una velocidad máxima de 300 km/h, a velocidades mayores ya no cumplía el estándar, sin embargo, el 5G puede llegar a velocidades de hasta 500 km/h, esto significa que con esta red se podrá tener buena comunicación incluso en aviones.
- Latencia: en 4G teníamos latencias de hasta 10 milisegundos, en 5G de hasta un milisegundo.
- En 5G se tendrá una densidad de conexión mayor, es decir, habrá más dispositivos conectados por km cuadrado.
- Mayor eficiencia de energía de la red, las antenas van a consumir menos potencia, lo que genera un ahorro de energía de hasta 100 veces en una estación base. Las baterías de los terminales tendrán una eficiencia de energía de hasta 100 veces más que la actual.

Sin embargo, también existen una serie de desventajas que se deben tener en cuenta:

- El 5G, al utilizar frecuencias de radio más alta, tendrá un rango de cobertura menor, por tanto, los operadores necesitarán instalar más nodos (antenas).
- Se requiere de nueva infraestructura (CW, *Continuous Wave*), nuevos equipos de radio donde integrar las 3 tecnologías de radio (RAT 2G, 3G y 4G), con mayor potencia en las nuevas bandas de operación de 5G.
- Los usuarios deberán adquirir nuevos dispositivos.

Con la implantación de una nueva era tecnológica siempre surgen algunos mitos que son convenientes desmentir. El más reciente, surgió tras la pandemia mundial del Covid-19, pues se llegó a pensar que el virus se propagaba a través de la red o que esta tecnología debilitaba el sistema inmune y favorecía al impacto del virus.

En resumen, podemos decir que el 5G contribuirá a una mejora en la latencia de la red, dispondrá de mayor velocidad a pesar de tener un mayor número de dispositivos

conectados. Todo esto conlleva la instalación de más nodos y la necesidad de que el usuario final obtenga nuevos dispositivos para poder disfrutar de esta tecnología.

2 Fibra óptica ¿Qué es? ¿Cómo funciona?

En los apartados anteriores hemos definido las diferentes redes que conforman una red de 5G y los protocolos que se definen entre los equipos para transportar datos, todo esto de manera lógica. Atendiendo a la parte física de la red y teniendo en cuenta que la quinta generación de tecnología se caracteriza por la rapidez en la transmisión y la baja latencia de la misma, la fibra óptica es la encargada de realizar esta función. En este apartado explicaremos qué es, cómo funciona, para qué sirve, así como las ventajas y desventajas de la fibra. Hay que recordar que en el 4G las comunicaciones se hacían a través de cables de par trenzado, los cuales van a ser sustituidas por fibra óptica y equipos que soporten la misma.

2.1 ¿Qué es la fibra óptica?

La fibra óptica es un hilo construido de vidrio transparente u otros materiales plásticos que presentan la misma funcionalidad y que permiten la transmisión de datos. Estos hilos pueden llegar a ser casi tan finos como un pelo, y transfieren la señal luminosa desde un extremo del cable hasta el otro. Esto permite la transmisión de datos en redes, así como las conexiones de audio de alta calidad [18].

Esta luz puede ser generada mediante un láser o un LED, consiguiendo transportar datos a grandes distancias, debido a que tiene un ancho de banda mucho mayor que los cables metálicos, menores pérdidas y mayores velocidades de transmisión.

Cabe destacar que la fibra óptica no transporta energía eléctrica, sólo señales de luz, lo cual evita las interferencias electromagnéticas y favorece la transmisión sin necesidad de colocar repetidores a cada cierta distancia.

2.2 Funcionamiento de la fibra óptica

Antes de explicar el funcionamiento de la fibra óptica vamos a ver las partes principales que constituyen un cable de fibra [19]:

- **Núcleo:** Es el elemento central, proporciona un refuerzo para evitar la rotura y deformación del cable.
- **Hilos de fibra:** es el elemento conductor, por ellos viaja la luz y los datos en ella. Están fabricados de cristal de silicio o plástico de extrema calidad que crean un medio en el que la luz pueda reflejarse y refractarse correctamente hasta llegar al destino.
- **Buffer y Cladding (revestimiento):** básicamente es el recubrimiento de los hilos de fibra óptica. Consiste en un relleno de gel de capa oscura para evitar que los rayos de luz no se salgan de la fibra. A su vez el *buffer* es el recubrimiento externo que contiene el gel y la fibra.
- **Cinta de Mylar y capas aislantes:** es un recubrimiento aislante que recubre todos los buffers de fibra. En función del tipo de construcción tendrá varios elementos, todos ellos de material dieléctrico (no conductor).

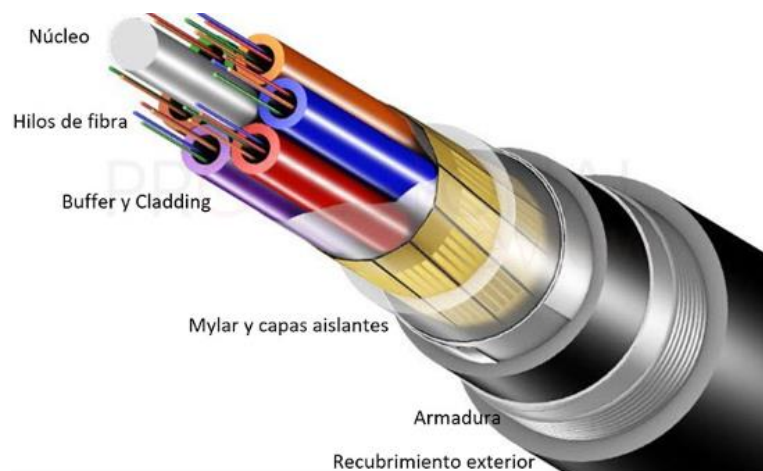


Figura 8: Partes de una fibra óptica [20]

Teniendo esto en cuenta, la propagación de la luz a través de la fibra óptica se lleva a cabo mediante la reflexión y refracción de esta [19].

- **REFLEXIÓN:** La reflexión de un haz de luz se produce cuando éste incide sobre una superficie de separación de dos medios y se produce el cambio de dirección de la onda que la lleva a tomar una dirección con un ángulo igual al de incidencia.
- **REFRACCIÓN:** al incidir el haz de luz sobre una superficie de separación de dos medios se produce un cambio de dirección y velocidad de la onda al pasar de un medio a otro.

Estos dos fenómenos físicos permiten la transmisión de la luz a través del cable de fibra óptica.

Sabemos qué es la fibra, las partes que componen un cable de fibra, así como los fenómenos físicos que permiten la propagación de la luz, pero para completar su funcionamiento es necesario saber la forma en la que se transmite la luz dentro del cable. Con esto llegamos a dos tipos de fibra [19]:

- **Monomodo:** solamente se transmite un haz luminoso por el medio. Este haz será capaz de llegar a una distancia de 400 Km sin el uso de un repetidor, y se utiliza un láser de alta intensidad para generar este haz. Este haz es capaz de transportar hasta 10 Gbit/s por cada fibra.
- **Multimodo:** se pueden transmitir varias señales de luz por un mismo cable, que son generadas por LEDs de baja intensidad. Se usa para transmisiones de más corto alcance.

Para poder conectar el cable a la red es necesario hacer uso de los diferentes conectores disponibles como pueden ser SFP, SC, FC, ST, LC, FDDI y MT-RJ, de los cuales cabe destacar el SFP (*Small Form-Factor Pluggable transceiver*) ya que es el que se usa con mayor frecuencia pues se utiliza para la transmisión de datos en conexiones de fibra monomodo o multimodo.

En la Figura 9 se muestra un SFP. Éste es un transceptor que permite conectar diferentes dispositivos como pueden ser *routers* o *switches* siempre y cuando estos tengan puertos SFP. Como ya se ha dicho esta conexión se realiza a través de fibra óptica. Además, existen transceptores SFP que convierten este tipo de puerto en un puerto RJ-45 con el objetivo de utilizar el cable de red Ethernet.

Este tipo de módulos SFP destaca por:

- Compatibilidad con medios de cobre y fibra óptica
- Versatilidad, pues se pueden utilizar tanto en redes de *GigabitEthernet* como en las de *10GigabitEthernet*.

- Movimiento de datos bidireccional, pues disponen de una entrada usada para la transmisión y una salida usada para la recepción.
- Conectividad de red rápida, pues no es necesario la configuración entre dispositivos o equipos de red adicionales.

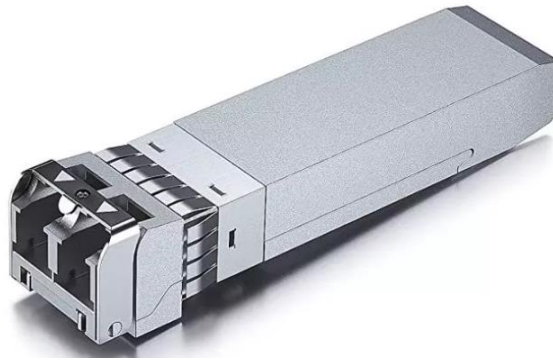


Figura 9: Transceptor SFP [20]

A la hora de elegir un conector SFP es necesario tener en cuenta la velocidad y distancia entre los equipos que vamos a conectar. Es decir, la velocidad del SFP y la de los puertos de los equipos que vamos a utilizar deben coincidir. Una vez definida esta característica pasaremos a evaluar la distancia, normalmente los equipos se encuentran a grandes distancias y la conexión se realiza mediante fibra monomodo ya que es la que permite conseguir mayor distancia con menor degradación, por tanto, el conector más usado suele ser un LC (*Link Connection*), del cual veremos su aplicación en el caso práctico.

2.3 Ventajas y desventajas de la fibra óptica

Tal y como hemos visto la fibra óptica es inmune a las interferencias eléctricas y además proporciona un gran ancho de banda. Pero también tiene sus inconvenientes como que los cables deben ser de gran firmeza y estar muy bien protegidos, para evitar la rotura de la fibra. Además, al no poder transmitir electricidad todo elemento deberá tener una fuente de alimentación cercana.

3 Aspectos involucrados en la migración

Como hemos visto anteriormente para que la integración del 5G no sea algo tedioso ni que suponga un gran coste se van a reutilizar elementos de la red de 4G ya integrada.

La arquitectura de red 4G está basada en el protocolo IP, la cual fue creada para conseguir una mayor velocidad. Las diferencias que encontramos con respecto a la red 5G serán mayores en aspectos lógicos que físicos, pues lo que se pretende es configurar los equipos ya existentes en la red 4G para adaptarlos a la nueva generación 5G, por tanto, veremos avances en los protocolos de red como ya hemos dicho anteriormente.

En la actualidad se está trabajando para que la red 5G sea independiente.

3.1 Equipos

Antes de explicar cómo funciona un escenario *seamless* (se denomina así al entorno tecnológico que permite al usuario estar siempre conectado con unas capacidades de comunicación constantes, independientemente de donde se encuentre o si está en movimiento o no) vamos a definir cada uno de los equipos que lo componen y la función que tienen:

- 1) EQUIPO ACCESO RED (PTN):** son dispositivos de acceso múltiple orientados al transporte de paquetes. Se utilizan en el lado de acceso de las redes portadoras proporcionando sincronización y gestión. Unidos a otros equipos son capaces de conformar una red de transporte de paquetes de extremo a extremo. Como podemos observar en la Figura 10 estos equipos admiten interfaces de servicio E1, STM-1, FastEthernet, GigabitEthernet permitiendo el acceso a servicios TDM (*Time Division Multiplexing*), Ethernet e IP [21].
Sus interfaces pueden ser de GE,10GE,40GE y 100GE.



Figura 10: Interfaces de un equipo PTN [22]

2) EQUIPO ACCESO RED NUEVO (ATN): al igual que el PTN es un dispositivo de acceso múltiple que se coloca en el lado de acceso de la red. Como se observa en la Figura 11, dispone de 4 puertos de 10GE y de 24 puertos GE. Se puede usar para redes 2G/3G/LTE, así como VLL (son líneas de red alquilada). Este equipo permite su instalación en escenarios complejos como puede ser el caso de una solución en anillo.

Cabe destacar su capacidad de reenvío de 64Gbit frente a los 44Gbit que ofrece el PTN. Además, permite una instalación rápida y sencilla ya que el encendido del equipo se puede hacer de manera remota [23].



Figura 11: Interfaces de un ATN [24]

3) EQUIPOS INTERMEDIOS: estos equipos son los que componen la ruta a seguir hasta llegar a los POPs (*point of presence*). En este camino nos podemos encontrar con M14, NE40 o equipos radio.

- **NE8000-M14:** como observamos en la Figura 12, son equipos más potentes que los ATNs pues admite Interfaces 100GE/50GE/25GE/10GE. Se puede usar como elemento de acceso a la red, así como equipo de agregación.

Soporta varios protocolos de enrutamiento como el Protocolo de información de Enrutamiento (RIP), sistema intermedio a sistema intermedio (IS-IS), protocolo de enlace de borde versión 4 (BGP-4) y enrutamiento multidifusión.

Además, introduce un nuevo protocolo de acceso SRV6 que soporta el IPV6 (sustituto del IPV4), que mejorará la latencia y ancho de banda.

Estos equipos serán los sucesores de los ATNs cuando la red esté completamente adaptada al 5G [25].

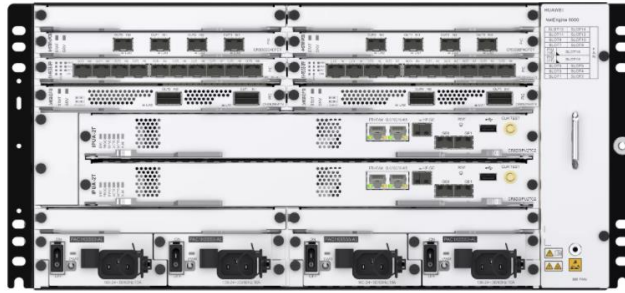


Figura 12: Interfaces de NE8000 [26]

- NE40:** son equipos que se usan como nodos de borde en redes troncales IP. Como se observa en la Figura 13, admite interfaces 100GE, 50GE, 25GE, 10GE y GE para varios escenarios de acceso al servicio. Tiene transporte multiservicio, por lo que admite la implementación flexible de varios servicios, como EVPN, L2VPN, L3VPN, MVPN, SR-MPLS y SRv6. Al igual que los M14 tiene capacidades para tablas de enrutamiento de protocolo RIP, OSPF, IS-IS, BGP-4, así como una convergencia rápida, lo que garantiza la estabilidad y la seguridad de la red en entornos de enrutamiento complejos. Además, al ser totalmente compatible con IPv6 proporciona una transición fluida de IPv4 a IPv6, lo que impulsa la evolución de las redes de transporte hacia la banda ancha. Su funcionamiento se podría comparar con el de una plataforma de nivel de operador que integra la gestión de usuarios y el control de servicios [27].



Figura 13: Interfaces equipos NE40 [28]

- EQUIPOS RADIO (PMW):** estos equipos pueden cumplir con los requisitos de transmisión de voz para redes 2G, requisitos de transmisión de voz y datos para redes 3G, requisitos de transmisión de datos de banda ancha para redes LTE y también requisitos de evolución orientados a 5G. Se pueden utilizar para construir redes de paquetes orientadas a la conectividad. Admiten la

transmisión unificada de servicios TDM/ATM/IP y una evolución fluida hacia redes de paquetes, esto hace que se pueda reutilizar la infraestructura de red ya existente [29]. En la Figura 14 se muestran las interfaces de las que dispone un equipo radio.



Figura 14: Interfaces equipos radio [30]

- **LAN SWITCH (EQUIPOS DE FIJA):** son conmutadores que interconectan equipos y nodos de una red de área local. Estos equipos operan en la capa 2, no funcionan como *routers* (no utilizan el protocolo IP para enrutar los paquetes), sino que lo hacen a través del direccionamiento MAC asociado a cada equipo conectado a la red. Tal y como se muestra en la Figura 15, estos equipos tienen conexiones RJ-45 o SFPs que permiten la conexión de interfaces de 10G y la transmisión de la tecnología 5G [31].

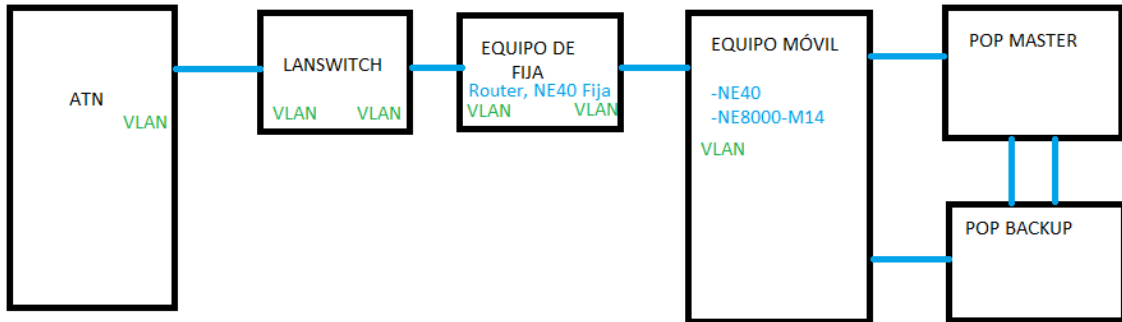
Utilizan dos métodos de comunicación:

- *Half Dúplex:* en esta conexión los datos viajan en una u otra dirección, pero nunca hacia las dos a la vez.
- *Full Dúplex:* es la que utiliza los canales de envío y recepción de forma simultánea.



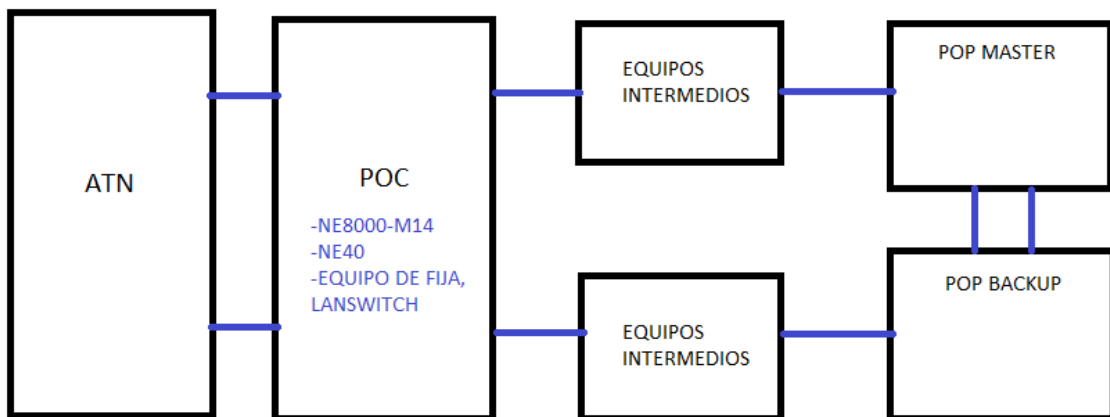
Figura 15: Interfaces de un Lan Switch [32]

Para permitir la transmisión de la tecnología 5G y que estos equipos puedan comunicarse con los ATNs y el resto de los equipos intermedios será necesario el uso de VLANs entre el ATN y el primer equipo móvil que encontremos en el escenario, pues para éstos los equipos de fija son transparentes. Por lo que tendremos un túnel entre el ATN y el primer equipo de móvil definido por esta VLAN y que nos permitirá direccionar los datos hasta llegar a los POPs. A continuación, se muestra un esquema a modo de ejemplo:



4) EQUIPOS FINALES (POPs): son los equipos que se encargan de entregar los datos a la red. En el caso de un escenario *seamless* serán NE40s, ya que como hemos visto son equipos que permiten usar las infraestructuras actuales para soportar el 5G, disponen de varias interfaces lo que les puede hacer partícipes de cualquier tipo de escenario y son compatibles con el protocolo *IPv6*. Todo esto permitirá una mejor adaptación de la tecnología 5G a la red que ya conocemos.

Si integramos estos elementos en la red, un escenario *seamless* quedaría de la siguiente forma:



Nos referiremos al POC como al equipo que se va a conectar directamente al ATN. En un escenario podemos tener uno o varios POC, dependiendo de las conexiones actuales que tenga el PTN (éste tendrá interfaces de 1Gb hacia el POC las cuales serán sustituidas por interfaces de 10Gb cuando queden conectadas al ATN)

En cuanto a los equipos intermedios son aquellos que nos permitirán llegar hasta los POP para poder entregar la información a la red.

Como observamos en el esquema tendremos dos rutas, la principal y la de *backup*.

Normalmente el tráfico se cursa por la ruta principal ya que suele ser la que menor número de saltos tiene y por lo tanto ofrece más velocidad. Sin embargo, puede ocurrir que se produzca algún fallo en la red por lo que para evitar la caída del servicio se diseña una segunda ruta a la que llamaremos *backup*.

Ya conocemos los equipos que intervienen en un escenario seamless, a continuación, explicaremos cuál es su funcionamiento lógico.

Este se basa en *Seamless MPLS*, es decir, se establece una ruta de conmutación de etiquetas de extremo a extremo (E2E LSP) a través de las capas de acceso, agregación y borde de forma que todos los servicios puedan encapsularse utilizando MPLS en la capa de acceso y transmitirse a través de las tres capas, todo ello es posible a través de un LSP (*Label Switched Path*) entre dos nodos cualquiera para implementar servicios [33].

El MPLS permite la conmutación multiprotocolo mediante etiquetas, y se caracteriza por:

- Introducir una estructura orientada a la conexión en redes (redes IP).
- Integra con continuidad a la capa 2 (enlace de datos) y capa 3 (red) del modelo OSI, combinando las funciones de control de enrutamiento con efectividad en la conmutación.
- Permite introducir QoS en redes IP.
- Optimiza el establecimiento de túneles en las VPN.

Este multiprotocolo genera un intercambio de rutas por etiquetas (LSP) estableciendo un camino entre los extremos. Cabe destacar que este LSP es unidireccional. La ruta tiene su inicio en un encaminador de etiquetas, que es quien tomará la decisión de etiquetar el paquete para el destino adecuado. Después de esto reenvía el paquete al siguiente encaminador en la ruta, el cuál reemplazará la etiqueta por otra que le corresponda, para así enviársela al siguiente. Una vez llega al último encaminador, este será el encargado de eliminar las etiquetas del paquete y lo pasará teniendo en cuenta las cabeceras de su próxima capa [33].

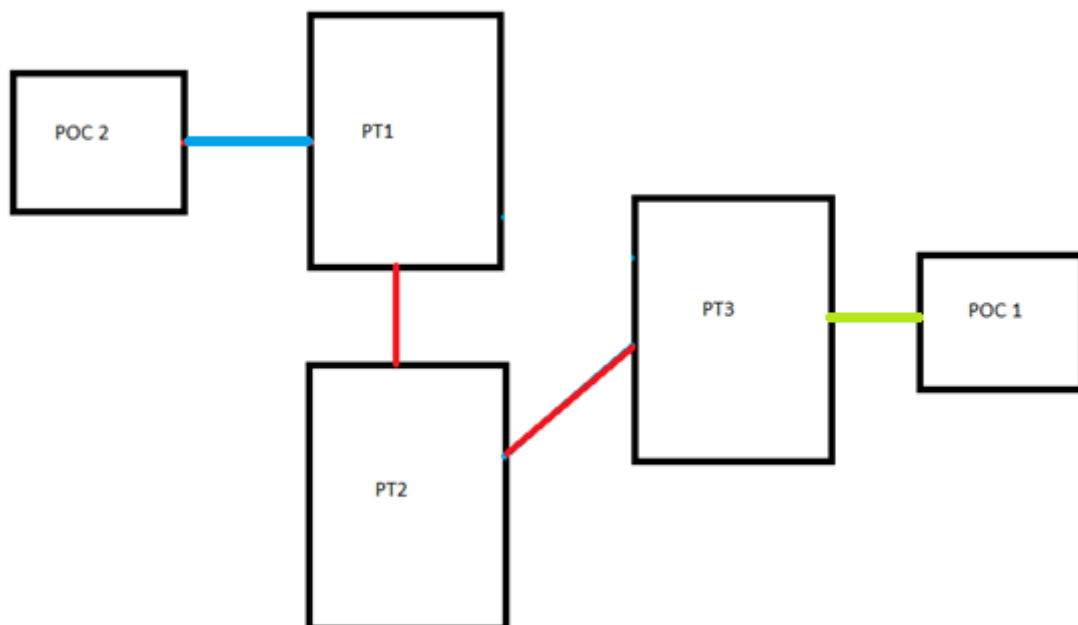
Volviendo al esquema anterior, en él se observa un escenario sencillo de *seamless*, pero puede darse el caso que el PTN esté conectado a otros PTN y tengamos conexión en anillo, esto lo veremos en el caso práctico que vamos a exponer a continuación.

4 Caso práctico

Para afianzar los conocimientos explicados sobre la tecnología 5G y cómo sería un escenario *seamless* vamos a apoyarnos en un caso práctico.

El objetivo es cambiar unos equipos que se encuentran conectados en anillo y no soportan la tecnología 5G por otros equipos que sí cumplen estas funciones. Estos se encuentran instalados en un estadio de fútbol, por lo que para evitar la caída del servicio se realizará la migración por fases.

El esquema actual para estudiar es el siguiente:



Como podemos observar los PTNs se encuentran conectados en anillo, a su vez el PT1 está conectado a otro equipo (POC) al igual que el PT3. El equipo con mayor complejidad sería el PT2 ya que a la hora de migrarlo es el que se encuentra conectado a ambos equipos, por lo que será el primero en migrarse.

4.1 Estudio del escenario a nivel lógico

Para poder integrar la tecnología 5G en el escenario actual será necesario realizar un estudio de la red, el cual se hará por equipo de la siguiente manera:

- Los PTNs son equipos que no soportan la tecnología 5G por lo que serán cambiados por equipos más potentes como los ATNs tal y como hemos dicho anteriormente. Para poder conectar el ATN a la red haremos lo siguiente:
 - **Reserva de puertos:** será necesario reservar un puerto para conectarlo con el POC (a nivel lógico y físico). En este caso solo va a estar conectado a un POC, pero se puede dar el caso de que sea un equipo que sirva de interconexión entre otros por lo que la reserva de puertos es importante para no bloquearlos y facilitar así el trabajo.
 - **Reserva de IP:** si el POC es un equipo móvil habrá que reservar una IP de interfaz para que se puedan comunicar entre ellos, si por el contrario se trata de un equipo de fija será necesario reservar una VLAN, recordemos que los equipos de fija solo tienen capa 2 por lo que no entienden de protocolo IP. Con la reserva de esta VLAN conseguiremos crear un túnel hasta llegar al primer equipo de móvil y continuar así con la comunicación mediante el protocolo IP.
- Los POCs serán los equipos que desconectaremos del PTN y conectaremos al ATN, por tanto, nos referimos al equipo que está conectado directamente con el ATN. Este equipo es el que nos dará la pista del camino que tenemos que seguir, pues la ruta será la misma que cuando estaba conectado al PTN, lo que cambiarán serán su puerto e IP, por tanto, habrá que reservar una nueva para el nuevo enlace.
- Una vez queda definida la ruta, esta terminará en los POPs. Estos equipos suelen ser NE40 y serán los encargados de llevar la información a la red final.

Por tanto, analizar el escenario de forma lógica consiste en la reserva de puertos e IPs o de VLANs en su defecto, así como en el estudio de la ruta. Cabe destacar que en el escenario se definen dos tipos de ruta:

- **PRINCIPAL:** será la ruta que contenga un menor número de equipos y la que disponga de mayor velocidad para transportar los datos.
- **BACKUP:** aquella que está formada por mayor número de equipos, esta ruta puede tener una velocidad menor que la principal, pues se hará uso de ella

cuando la primera presente algún problema en el servicio. Con esto conseguiremos mantener la red activa, aunque a cambio aumente el tiempo de transmisión de datos.

4.2 Estudio del escenario a nivel físico

Para poder integrar la tecnología 5G (*escenario seamless*) aprovechando los elementos de la red 4G la idea general es cambiar el equipo PTN por un equipo ATN. A nivel físico esto se traduce en un cambio de cable coaxial por un cable de fibra óptica.

Este cambio consiste en llevar la fibra de calle hasta los equipos implicados, por lo que será necesario la creación de un PLC (*Power Line Communication*) entre el ATN y el POC. Es decir, se optará por comunicaciones mediante línea de potencia que utilizan las líneas de transmisión de energía eléctrica convencionales para transmitir señales con propósitos de comunicación. La tecnología PLC aprovecha la red eléctrica para convertirla en una línea digital de alta velocidad de transmisión de datos, permitiendo, entre otras cosas, el acceso a Internet mediante banda ancha.

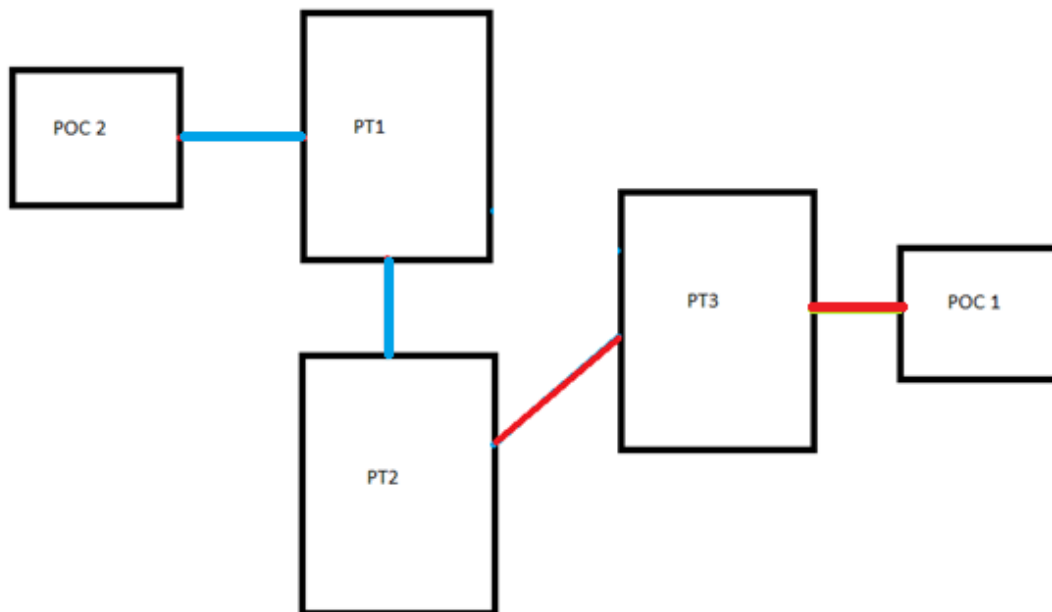
Para conseguirlo se define una posición del rack del ATN, así como del POC, estas posiciones serán las que conectarán los equipos mediante el cable de fibra.

Con este procedimiento quedaría resuelto el escenario a nivel físico.

A continuación, se explicará el estudio de red para cada uno de los PTNs que se van a sustituir por los ATNs. Para el caso del PT1 y PT3 el estudio quedará realizado una vez hecho el del PT2 ya que es el que se encuentra conectado a ambos y las rutas ya estarán definidas. Una vez cambiemos el PT1 y el PT3 solo habrá que definir el camino que siguen hacia los POP y decidir así cuál es la ruta principal y de protección para cada uno de ellos.

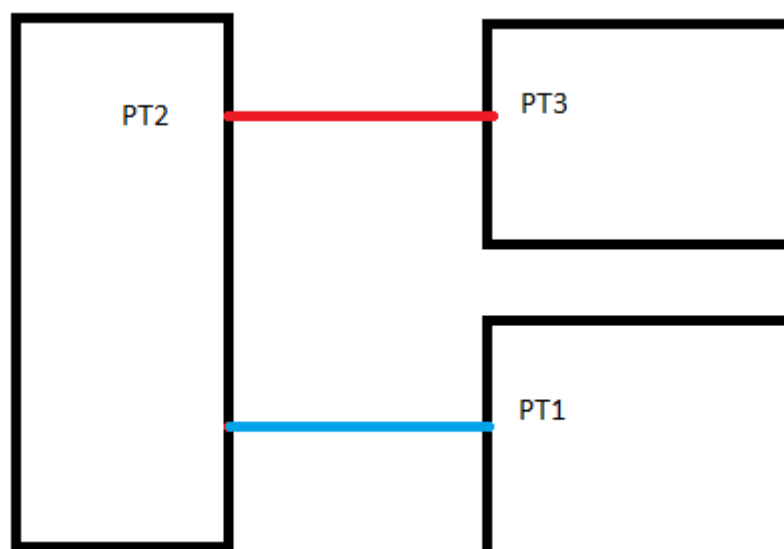
4.3 Análisis del escenario para el PT2

En primer lugar, rescataremos el esquema inicial donde aparecen todos los equipos:



Partiendo de este escenario y para que nos sea más fácil el llegar a la solución *seamless* nos quedaremos solo con el PT2 y los equipos a los que está conectado:

SITUACIÓN ACTUAL



En el esquema inicial vemos que el PT1 está conectado a un POC que tras recorrer una serie de equipos llegará a su POP y el PT3 a otro que ocurrirá lo mismo. Esto definirá cuál

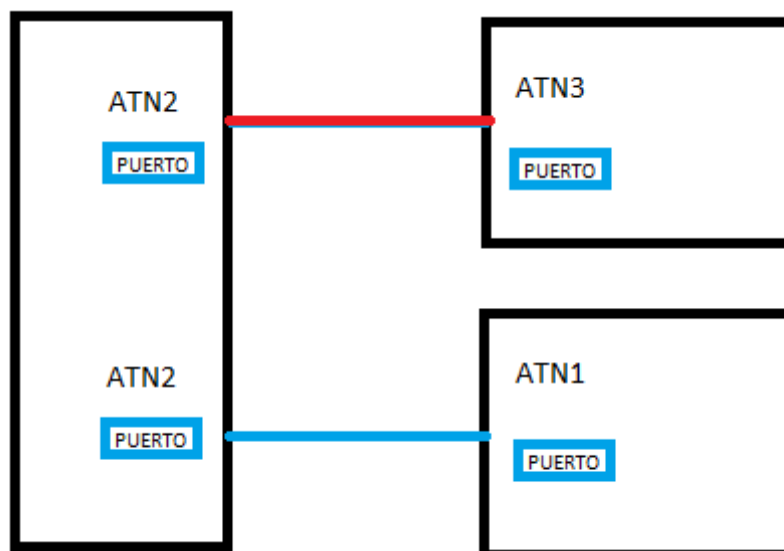
será la ruta principal para el PT2 y cuál la de protección ya que dependiendo del número de saltos que haya desde el POC hasta los POP nos decantaremos por uno u otro. Pues el cambio de PTN a ATN no modifica la ruta, basta con mirar la ruta antigua para definir las rutas actuales. Una vez hecho esto, el análisis del PT1 y del PT3 los dejaremos para el final ya que quedarán completamente definidos al realizar el cambio en el PT2.

Desde el punto de vista físico, la conexión entre el PT2 y el PT3, al igual que la del PT2 y el PT1 va a ser sustituida por una conexión entre dos ATNs, por lo que vamos a aumentar la velocidad de transmisión entre ellos cambiando el cable coaxial por un cable de fibra. Esto nos va a permitir pasar de 1Gb a 10Gb. En el escenario este cambio conlleva poner un PLC entre ambos equipos para el cual será necesario reservar un puerto.

El PLC va a definir el rack y la posición que se reserva para cada equipo. Hay una hoja de fibra que indica el camino que sigue esta hasta llegar al ATN, una vez aquí conectamos el PLC y nos llevará al siguiente equipo, es decir voy por fibra de calle, pero entre los dos equipos se conectará un PLC.

Una vez reservado el puerto habremos conseguido también definir la posición y el *subrack* al que se conectará el SFP, así como la fibra de calle elegida. Esto se hará para ambos equipos pues los dos son nuevos y estamos creando una conexión nueva.

Una vez puesto los PLCs las rutas principales y de protección quedarían definidas de la siguiente manera:



A nivel físico cabe destacar que obtendremos una conexión de 10Gb por la ruta principal y de protección, conectando el equipo a la fibra de calle a través de un PLC, todo ello mediante la reserva de puertos.

Para poder llevar a cabo el enrutamiento de los equipos será necesario la reserva de IPs pero esto lo veremos en el análisis lógico.

4.4 Cómo se dividen las IPs y cómo asignarlas

Antes de ver en qué consiste el procedimiento de reserva de IPs vamos a ver qué son y qué normas hay que seguir para su asignación.

Una dirección IP es una etiqueta numérica que se le asigna a una interfaz en la red de un dispositivo con el objetivo de identificar al mismo de forma lógica y jerárquica siempre y cuando se haga uso del Protocolo de Internet (*Internet Protocol*).

Por tanto, mediante la asignación de IPs a los dispositivos conseguimos identificar la interfaz de red, así como su direccionamiento para lograr su ubicación.

Esta dirección IP puede cambiar de manera constante bien por cambios en la red o porque se haga uso del protocolo DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*). Este es un protocolo de tipo cliente/servidor que permite asignar de forma dinámica una dirección IP a cada dispositivo conectado a la red, asegurando así la comunicación con otras redes externas. El servidor dispondrá de una lista dinámica de IPs que irá asignando de forma aleatoria a cada cliente sabiendo en qué instante se ha hecho uso de ella y a quién se le ha asignado después. Esto permite que los dispositivos sean autónomos a la hora de conseguir la configuración de red. Dicho protocolo se usará para sitios de Internet que necesitan estar conectados permanentemente. Este no será nuestro caso ya que necesitamos que los equipos queden identificados por una IP fija o estática y así poder conocer su localización en la red en todo momento [34].

Para el protocolo IPV4 las direcciones IPs se expresan mediante un número binario de 32 bits, dando lugar a 2^{32} direcciones posibles. Con este rango de direccionamiento las podemos dividir en tres tipos [35]:

- 1) **CLASE A:** El primer octeto sirve para identificar a la red, mientras que los tres últimos serán asignados a los *hosts*.
- 2) **CLASE B:** Los dos primeros octetos identifican a la red, mientras que los dos octetos finales serán asignados a los *hosts*.
- 3) **CLASE C:** Los tres primeros octetos identifican a la red, mientras que el último octeto será asignado a los *hosts*.

Esta forma de definir IPs provoca que el rango de asignación sea reducido y que las IPs se agoten. Así surge IPV6.

En este nuevo protocolo las IPs se clasifican en *unicast*, *anycast* y *multicast* [35]:

- 1) **UNICAST:** representan una única interfaz de red.
- 2) **ANYCAST:** es asignada a un grupo de interfaces, normalmente de nodos diferentes. Cuando un paquete llega a este tipo de direcciones llega solo a un miembro de la red, según se haya definido el protocolo

de encaminamiento. La diferencia con respecto a las direcciones *anycast* es que estas las podemos encontrar en diferentes puntos de la red.

- 3) **MULTICAST**: también es usada por múltiples interfaces, que consiguen la dirección *multicast* participando en el protocolo de multidifusión entre los *routers* de red. Cuando un paquete llega a una dirección *multicast* se entrega a todas las interfaces que están definidas en el grupo correspondiente.

Lo más común es que una red utilice ambos protocolos para enviar sus paquetes. Teniendo esto en cuenta veremos cómo se pueden dividir las direcciones IPs en subredes, lo que nos va a permitir conseguir un sistema autónomo formado por distintas subredes que comparten la misma dirección de Internet.

Un campo de dirección de IP consta de dos partes: una dirección de red y una dirección local. La parte de la dirección local de una dirección Internet está dividida en un número de subred y un número de sistema principal [36].

En notación decimal una dirección IP estará comprendida en el rango del 0 al 255. La máscara de red será la que nos delimite la extensión de la red. Es decir, nos permite saber la cantidad de subredes que podemos crear, así como los *hosts* que podemos conectar a ella. En ella se define los primeros octetos como la parte de red (representada por unos), y los siguientes como la parte de *hosts* (representada por ceros). Las máscaras de red más comunes son: /8, /16, /24, /32 [36].

A la hora de asignar una IP a una red, esta debe tener una parte común que identifica a la red y otra parte que va a distinguir a los *hosts*.

Veamos esto con un ejemplo:

En nuestro caso queremos reservar una IP de interfaz, es decir, una IP que permita identificar a dos equipos en la red, por lo que bastaría con definir una IP con máscara /24, con esto podremos definir cuatro IPs:

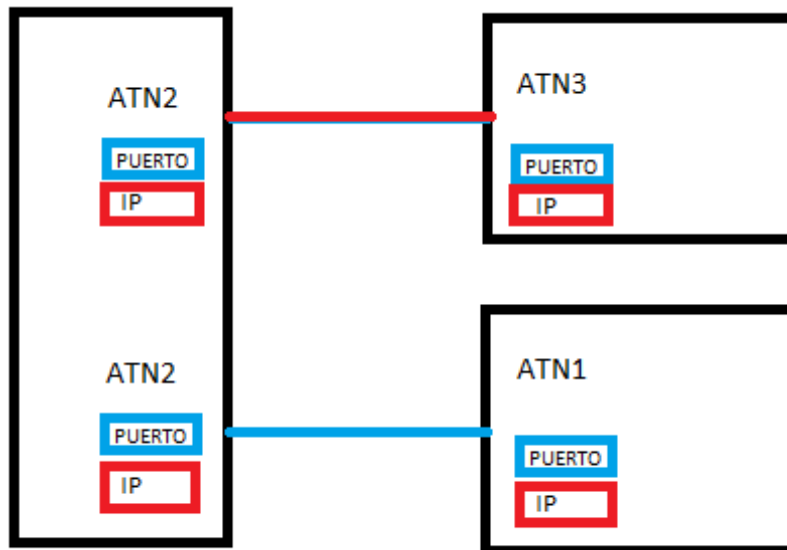
- La primera hace referencia a la red
- La segunda será asignada al primer equipo (en nuestro caso al ATN que integramos en la red)
- La tercera será asignada al segundo equipo (en nuestro caso al POC)
- La cuarta IP es la dirección de *broadcast*, es decir, con esta dirección podremos mandar un mensaje a todos los equipos que se encuentren conectados a la red.

Por lo tanto, a la hora de reservar IPs de interfaz lo haremos con una máscara /24 que nos permite integrar dos equipos en la red.

Esta reserva de IPs la haremos cuando se traten de equipos de móvil, ya que son los que tienen capa 3 y utilizan el protocolo IP. Si se diese el caso de que la conexión es entre un equipo de móvil y un equipo de fija habría que añadir un elemento más, la *VLAN*. Este

elemento quedará definido en el análisis del PT1 y el PT3 ya que son los equipos que quedarán conectados a los POCs, pudiendo ser estos equipos de fija o de radio.

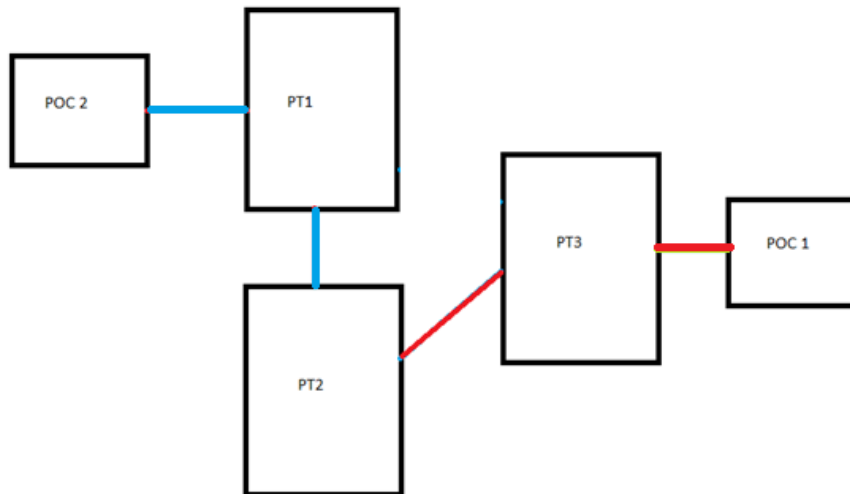
Una vez realizada las reservas de las IPs, el escenario quedaría de la siguiente forma:



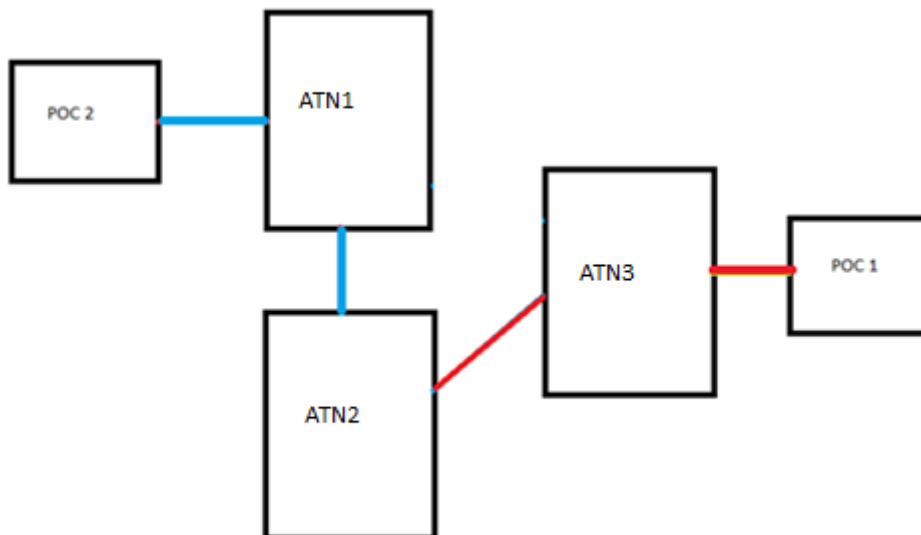
En cuanto a la ruta a partir del ATN3 y el ATN1 seguiremos exactamente el mismo camino que hay en el escenario actual, con la diferencia que entre los ATNs y el siguiente equipo habrá que reservar un puerto y una IP nueva o una VLAN dependiendo si el POC sea un equipo de fija o móvil. Pero esto lo veremos en detalle cuando analicemos cada uno de los ATNs por separado.

Recuperando el esquema del principio y con el fin de tener una visión global del escenario *seamless* sin entrar en detalle tendríamos lo siguiente:

SITUACIÓN ACTUAL



SITUACIÓN FUTURA



Como breve resumen del análisis realizado para el cambio de equipo (PT1-ATN1, PT3-ATN3), se podría decir que de forma física se hace referencia a la reserva de puertos con el fin de conseguir instalar la fibra óptica y coger la fibra de calle a través del PLC. En cuanto al análisis lógico realizado, para conseguir instalar el equipo en la red, sería

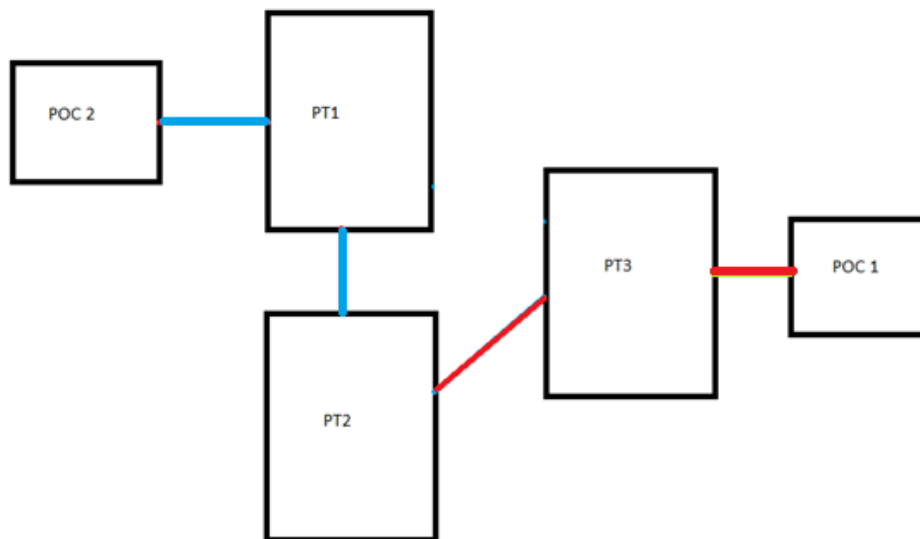
necesario la reserva de una IP y la previa definición de esta, así como de una VLAN si se tratara de equipos de fija o de radio.

Hasta ahora hemos visto cómo cumplir uno de los propósitos del 5G y es el aumento de la velocidad mediante la integración de un equipo nuevo (ATN) y un cable de fibra (PLC).

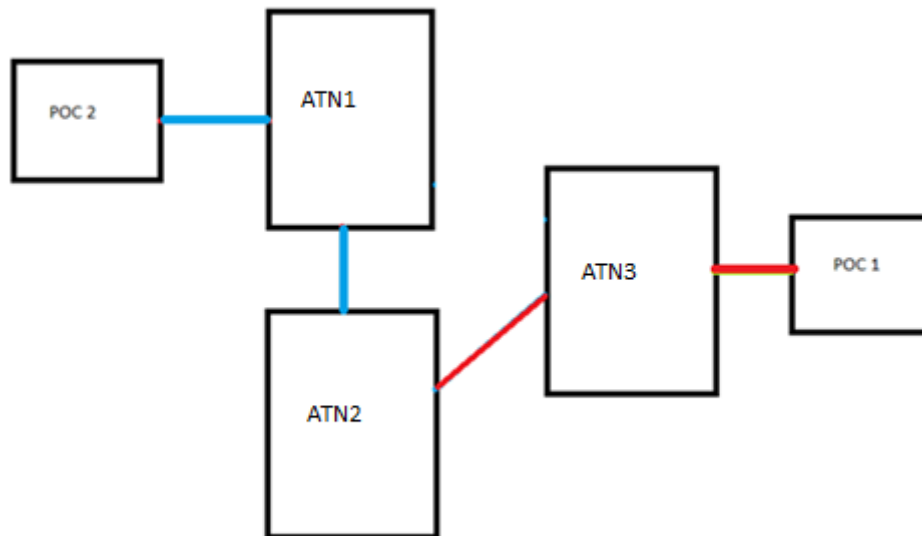
Desde el punto de vista lógico será necesario la reserva de IPs y de VLANs si hubiera equipos de fija.

4.5 Análisis del escenario para el PT3

En el apartado 5 comenzábamos con el siguiente esquema:



Después de realizar el análisis para el PT2 y cambiarlo por el ATN2, el escenario quedaba de la siguiente forma:



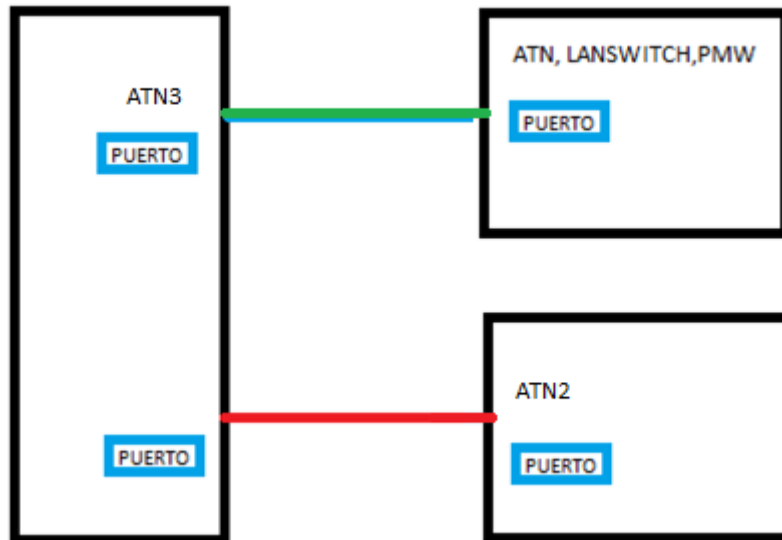
Para el ATN2 la ruta principal iba por el ATN3 y la ruta de protección por el ATN1. Esto no se tiene por qué cumplir para el PT3, es decir, la ruta principal no tiene por qué ir por el ATN2. Ahora para definirla habrá que medir los saltos que ésta presente con los saltos que presente la ruta del PT3 hacia el POP pasando por el POC.

La ruta entre el ATN2 y el ATN3 la conocemos del apartado anterior y la ruta del ATN3 hacia el POP será la misma que presentaba el PT3 con este, por lo que para el ATN3 la ruta principal será la del POC ya que tiene menor número de saltos y la de protección la que va conectada al ATN2.

Desde el punto de vista físico, la conexión entre el ATN3 y el ATN2, es la misma que hemos analizado en el punto anterior, ya se encuentra definida por lo que no habrá que realizar un análisis nuevo.

Sin embargo, para la conexión entre el ATN3 y el POC (ruta principal) dependerá de si lo que tenemos sea un ATN, LANSWITCH o un equipo de radio (PMW), para este último caso la conexión a crear tendrá una velocidad máxima de 1Gb pues estos equipos no disponen de puertos de 10Gb. Para los otros dos casos sí se puede alcanzar dicha velocidad. Como hemos visto para llegar aquí solo será necesario la reserva de puertos a excepción de si el equipo es un LANSWITCH o un PMW, en el cual también habrá que realizar una reserva de VLANs, pero esto veremos cómo hacerlo en el análisis lógico del escenario.

SITUACIÓN ACTUAL



El puerto nuevo queda reservado entre el ATN3 y el POC, ya que para la conexión con el ATN2 el puerto ha quedado reservado en el apartado anterior.

4.6 Cómo reservar una vlan y cómo asignarla

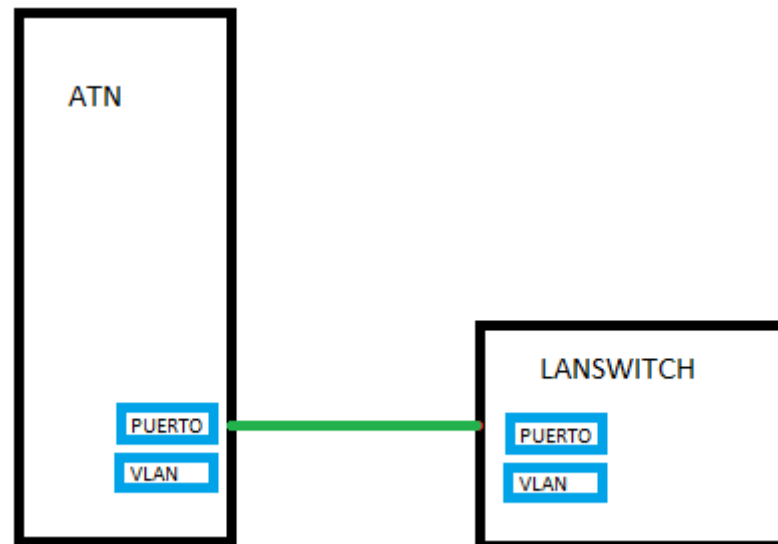
Cabe recordar que los equipos de fija solo llegan hasta capa 2 es decir no conocen el direccionamiento de red, por lo que cuando un equipo de móvil se quiere comunicar con otro habiendo equipos de fija en el camino será necesario la reserva de *VLAN* más una IP de interfaz entre los dos equipos de móvil.

Como vimos en el apartado 2.3, una *VLAN* es una red de área local virtual, en otras palabras, se trata de un túnel que permite la comunicación entre dos equipos de móvil cuando en el medio hay equipos de fija (para los equipos de móvil este túnel es transparente).

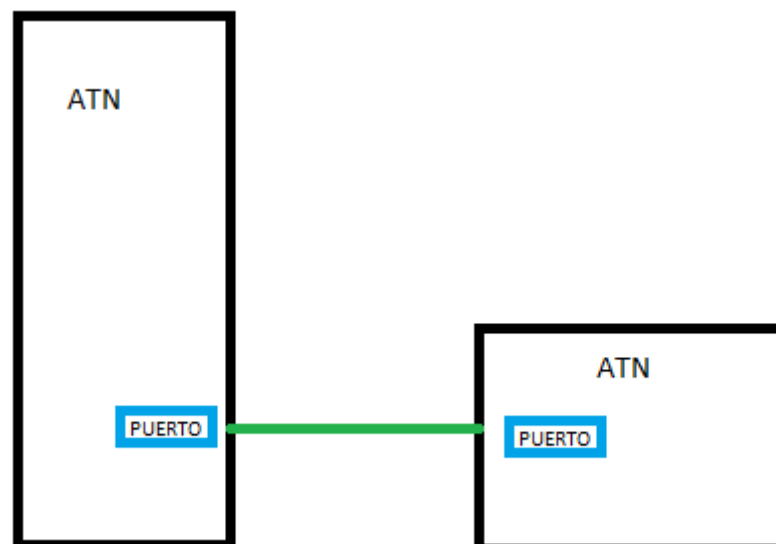
En el caso práctico para hacer esto posible, la reserva de IPs se hará a través de una base de datos mientras que en lo referido a la *VLAN* consistirá en la creación de un túnel que tendrá como origen el primer equipo móvil (ATN) y como destino el segundo equipo móvil (POC), en la ruta de este túnel marcaremos los equipos de fija que lo conforman.

En cuanto al POC, debido a que lo estamos viendo de forma genérica nos podemos encontrar con tres casos:

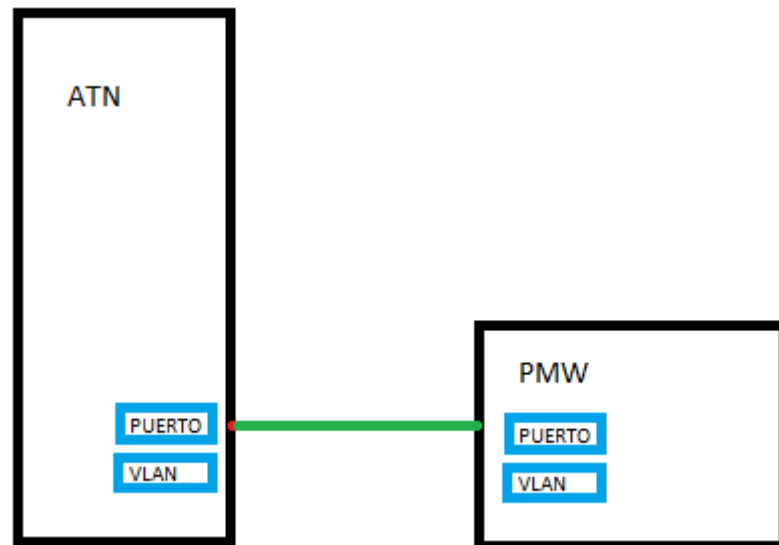
- El POC es un equipo de fija: se trata de un *lanswitch* o de un NE40 de fija. Si ocurre esto además de reservar un puerto entre el ATN y este equipo, será necesario la reserva de una VLAN. Pero esto lo veremos cuando lo estemos analizando de forma lógica.



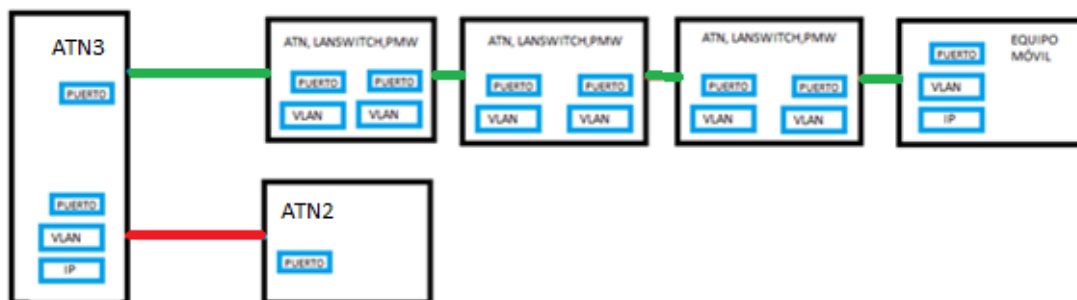
- El POC es un equipo de móvil: se trata de un NE40 o de otro ATN. En este caso se procede de la misma forma que para la ruta principal, reserva de puertos y creación de PLC.



- El POC es un equipo de radio: se trata de un equipo PMW. En este caso la conexión solo puede ser de 1Gb ya que estos equipos no soportan una velocidad mayor y también será necesario la reserva de una nueva VLAN.



Una vez realizada las reservas de las IPs y las VLANs (en el caso de que las hubiera), el escenario quedaría de la siguiente forma:



Como breve resumen, en el caso del escenario del ATN3, para la ruta de protección no habrá que hacer nada ya que ha quedado analizado en el apartado 5.3. Para la ruta principal sí hay que realizar tanto el análisis físico como lógico ya que esta conexión es nueva, pues sustituirá a la del PT3 con el POC.

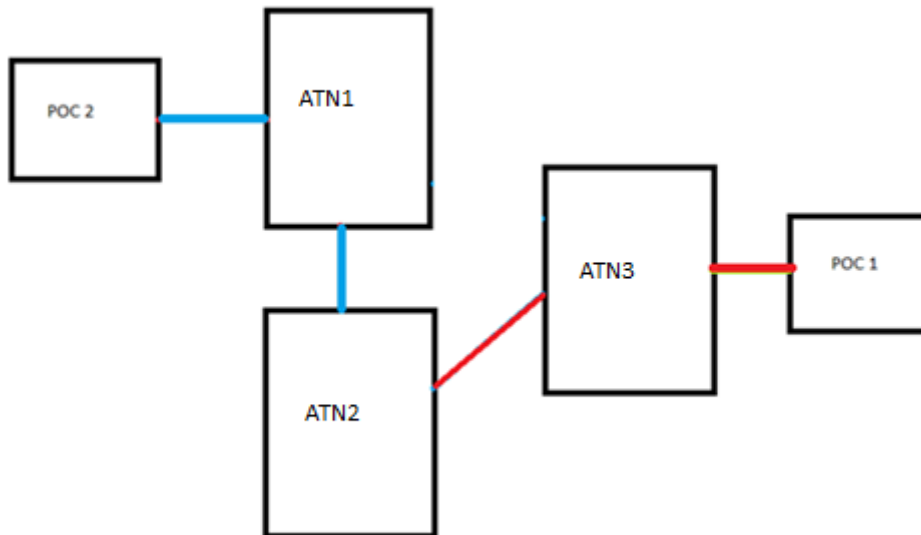
Para llegar a este punto:

- Primero habrá que realizar un estudio de la ruta para comprobar el número de saltos y así poder compararla con la ruta que va hacia el ATN2.
- En segundo lugar, habrá que reservar un puerto entre el ATN3 y el POC
- Y, en tercer lugar, habrá que reservar IP si el POC es un equipo móvil, o una VLAN si el POC es un equipo de fija.

4.7 Análisis del escenario para el PT1

Una vez analizado el escenario para el PT2 y el PT3 realizar el análisis para el PT1 es sencillo, pues simplemente habrá que replicar los pasos.

Recuperamos el esquema del apartado 5.3:

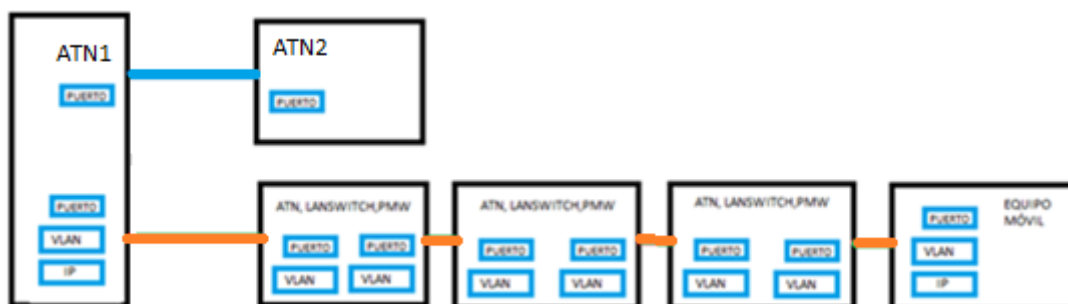


Como vimos en el apartado 5.2 la conexión entre el ATN1 y el ATN2 ya está definida, se ha reservado el puerto y la IP correspondiente, así como el PLC para la fibra de calle.

En cuanto a la conexión con el POC antes que nada deberemos comparar la ruta actual con la que ya tiene hacia el POP pasando por el ATN2 para así poder decidir cuál será la ruta principal y cuál la de protección. Una vez comparado el número de saltos se puede apreciar que la conexión con el ATN2 será la principal y la que va hacia el POC será la de protección.

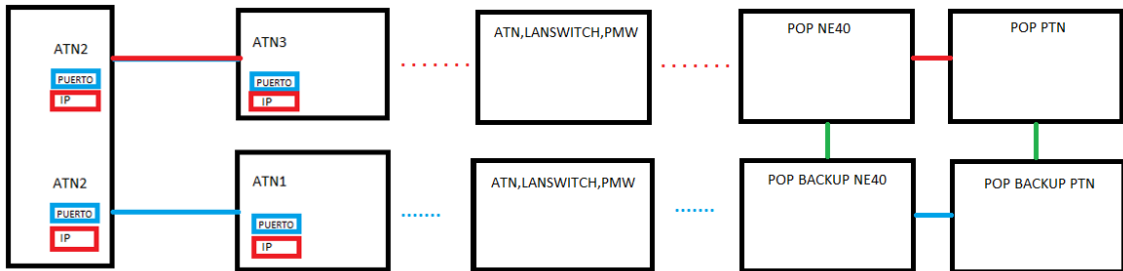
Una vez definidas las rutas se reservará el puerto, así como una IP o VLAN dependiendo del equipo que tengamos sea un equipo móvil o una de fija.

Siguiendo los pasos anteriores tendríamos el siguiente esquema:



5 Conclusiones y mejoras

Una vez analizado el esquema, la solución futura quedaría de la siguiente forma:



Aprovechando la red de 4G han quedado sustituidos los PTNs antiguos por equipos nuevos ATNs, aportando así una mayor velocidad. La ruta a seguir no sufre ningún cambio puesto que los equipos intermedios (LANSWITCH, ATN, PMW) son los mismos que había al principio, los cuales conducirán el tráfico hasta los POP mediante el protocolo MPLS.

Como se muestra en la Figura 16, el sistema MPLS permite la comunicación desde un cliente a otro a través de LSP:

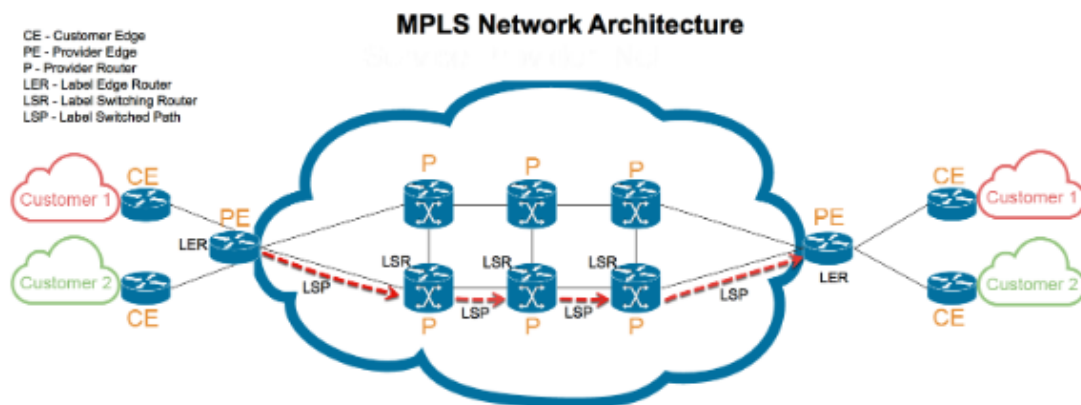


Figura 16: Arquitectura protocolo MPLS [37]

Como explicábamos en el punto cuatro, este protocolo permite la conmutación mediante etiquetas:

- En una red 4G esta conmutación llegaba hasta los POP PTN principal y de *backup*, pues para que la comunicación fuera posible era necesario la creación de tres túneles (cada uno de ellos con su correspondiente túnel de protección, pues si la red principal se colapsa la segunda ruta cubrirá los problemas temporales de la primera), uno de ellos para gestión (DNS, *Domain Name System*) y de los otros dos restantes uno era el encargado de transportar el tráfico de la tecnología de 2G-3G y el otro el de la tecnología de 4G. Normalmente los túneles de gestión llegaban hasta los POP PTN y los que transportaban el tipo de tecnología llegaban hasta los POP NE40.
- En una red 5G que se apoya en la red de 4G para transportar el tráfico, se puede prescindir de los túneles de gestión DNS, gracias a los equipos usados como nodo principal (ATNs). Por lo que solo hay dos túneles, uno para transportar la tecnología 2G, 3G y 4G y otro para la tecnología 5G o *seamless* con sus correspondientes túneles de protección.

Habríamos llegado a la solución buscada, con los nuevos equipos completamente integrados en la red de 4G. Para evitar residuos en la red se procedería a realizar un clean-up de esta que incluiría liberación de IPs, VLANs y puertos.

Ya definido el sistema de enrutamiento y los túneles necesarios para enviar y recibir tráfico de un punto a otro, así como el análisis físico y lógico para poder integrar un equipo de tecnología más avanzada en una red de 4G sólo nos faltaría analizar las ventajas y desventajas que ello conlleva [38].

5.1 Ventajas y desventajas

VENTAJAS:

- Se puede operar en la red 5G utilizando infraestructura de la red 4G debido al espectro electromagnético, ambas tecnologías comparten banda de frecuencia gracias al espectro dinámico (*DSS*, permite la asignación dinámica de frecuencia basándose en la demanda de los usuarios) por lo que no es necesario apagar el 4G para que funcione la nueva generación
- Mayor velocidad de red
- Baja latencia
- Mayor número de dispositivos conectados con mayor ahorro energético
- Apertura a nuevos negocios
- Impulsor de otras tecnologías
- Movilidad, pues se amplía el rango hasta los 500km/h lo que permite que se pueda usar en aviones

DESVENTAJAS:

- La cobertura 5G está limitada a día de hoy, pues la infraestructura no ha cambiado con respecto al 4G, lo que hace que no esté operando tal y como estaba pensado hacerlo.
- Esta tecnología no resulta muy eficaz en lugares con abundantes precipitaciones o nieve, recordemos que su principal componente es la fibra óptica.
- Presenta un rango de cobertura menor debido al nivel de frecuencia usado, lo que se traduce en la necesidad de instalar un mayor número de antenas y por tanto más tiempo en poder dar cobertura a todo el país
- Nuevos equipos de radio que contemplen las tecnologías 2G-3G-4G

Haciendo balanza entre los pros y los contras que nos ofrece esta tecnología se podría decir que su no despliegue actual se debe más a un problema de coste que a un problema de funcionalidad, pues la nueva generación nos proporciona más velocidad, menor latencia y una mejor eficiencia en la red teniendo en cuenta que habrá un mayor número de dispositivos conectados. Pero para conseguir esto será necesario realizar un mayor despliegue de antenas que cubran todas las zonas ya que a mayor frecuencia menor cobertura, así como nuevo equipamiento que soporte esta tecnología.

Para conseguir desplegar el 5G separándolo de la red de 4G y así poder hacer uso de todas las funcionalidades que nos ofrece la nueva generación sería necesario crear estaciones bases de 5G o lo que también se conoce como *Stand Alone* (operar sola).

Haciendo un análisis para una única estación base será necesario recurrir a tres campos:

- Ingenieros civiles: serán los encargados de proporcionar las licencias necesarias sobre el terreno en el que se montará la torre.
- Electricistas: activarán el suministro eléctrico y serán los encargados de realizar la instalación eléctrica.
- Ingenieros de telecomunicación: encargados de la transmisión y radio de la nueva tecnología.

Antes de montar una estación base habrá que realizar un estudio sobre la cantidad de celdas necesarias para dar cobertura a una zona y multiplicar el coste unitario por cada una de estas celdas.

5.2 Líneas futuras

El arranque del despliegue del 5G parece una tarea complicada si nos centramos en el coste que esto conlleva, sin embargo, los operadores apuestan por ello y es muy probable que a lo largo de este año se empiece con dicho despliegue en España, pues aparecen dos opciones para propulsar a la nueva generación:

- En el sector público se inicia el proyecto UNICO 5G (impulsado por el Gobierno): ofrece ayudas para impulsar el despliegue con especial atención en las zonas rurales, y fomentar la i+D+i con pilotos innovadores [39].
- En el sector privado encontramos grandes operadores como Telefónica, Orange y Vodafone, los cuales cuentan con empresas dedicadas a las infraestructuras de las telecomunicaciones como son American Tower, Totem y Vantage respectivamente. Otra de las empresas que apuestan por el despliegue del 5G y se trata de un operador neutro es Cellnex, la cual se encuentra en expansión en los últimos años.

Todas estas empresas abarcan el mercado internacional (American Tower, la más extensa), aunque alguna de ellas se centra más en el mercado europeo como es el caso de Cellnex, Totem y Vantage. Veamos los mapas de coberturas de dos de ellas para así entender mejor el alcance de estas:

AMERICAN TOWER



Figura 17: Mapa de cobertura American Tower [40]

CELLNEX



Figura 18: Mapa de cobertura de Cellnex [41]

Como observamos en la Figura 17, American Tower es una empresa internacional y la más extensa de todas, pero con pocas operaciones realizadas en España. Al contrario de lo que ocurre con Cellnex (Figura 18) una empresa enfocada en el mercado europeo al igual que Totem y Vantage, de ahí que hayan realizado las siguientes operaciones en nuestro país:

- Totem (filial de Orange) ha firmado un contrato con Telefónica para adaptar infraestructuras de 5G en España, es decir, preparar los emplazamientos para que soporten el 5G, así como el refuerzo de las torres [42]
- Vantage Tower (Vodafone) ha firmado un contrato con MasMóvil con el objetivo de acelerar el despliegue del 5G en Europa, también lo ha hecho con American Tower para extender el 5G en España
- Cellnex (operador neutro) junto con Nokia desplegarán la red de 5G de los centros logísticos de ADIF

Por tanto, de forma conjunta las empresas de infraestructura están trabajando de la mano con el fin de implantar el 5G en España

A pesar de que esto es una tarea que no tiene marcada una fecha de lanzamiento, ya se han realizado pequeños proyectos independientes que hacen uso de la nueva generación como puede ser:

- La intervención de Cellnex en el campo del Real Betis con el fin de mejorar la “*fan experience*” a través del móvil. Mientras tanto en el estadio del Sadar se instalará la tecnología 5G
- En el Principado de Asturias se pretende implantar un proyecto piloto del internet de las cosas a través de Cellnex
- Uno de los casos más reciente que cabe destacar es el uso del 5G junto con la realidad virtual en la Torre Caleido de Madrid (parque empresarial) donde intervinieron Telefónica y Nokia consiguiendo que la universidad de Segovia y la torre Caleido estuvieran conectadas por 5G para una clase virtual. Para ello se hizo uso de un móvil 5G, unas gafas de realidad virtual en las que se inserta el móvil y la tecnología Edge Computing que permitió conseguir la definición de los espacios, por lo que los alumnos podían recorrer el aula o levantar la mano si así lo precisaban. Es importante resaltar que este proyecto se llevó a cabo con una tecnología 5G (*Non Stand Alone*)

Haciendo un recorrido por el trabajo expuesto podemos concluir que actualmente la tecnología del 5G ya ha encontrado su hueco mediante el uso de la infraestructura de su antecesora. Es importante recordar que ambas tecnologías trabajan con el mismo espectro electromagnético, por lo que como hemos visto en el caso práctico solo es necesario un cambio de equipos y la reconfiguración de la red para alcanzar los requisitos de una red de nueva generación.

Sin embargo, este aprovechamiento de la red de 4G está haciendo que la tecnología 5G no opere tal y cómo estaba pensado en un principio causando algunas limitaciones, es esto lo que está promoviendo el acuerdo entre operadores para hacer posible su despliegue, pues se necesita de una gran instalación de antenas debido a su escasa cobertura, lo que conlleva una gran inversión y de ahí que no se haya completado aún. A pesar de ello encontramos a la nueva generación operando sola en algunos espacios más reducidos como puede ser un estadio de fútbol.

Referencias

- [1] Wikipedia, *Tecnología 5G*. Recuperado el 15 de enero de 2023 de https://es.wikipedia.org/wiki/Telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil_5G
- [2] J.M Vozmediano Torres, libro de apuntes *Estructura y Protocolos de Redes Públicas*. Tipos de accesos a la red. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla.
- [3] Comunicación móvil continua, *Hexágonos cinéticos*. [En línea] malakabot.com/tutoriales/arduino/arte-y-electronica-hexagonos-cineticos/
- [4] Esquema de red 5G, *Arquitectura básica de una red celular*. [En línea] https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Arquitectura-Basica-de-una-Red-Celular-Fuente-Nuevas-tendencias-en_fig1_316187073
- [5] Computerworld, *Red de acceso por radio*. Recuperado el 25 de marzo de 2023 de <https://www.computerworld.es/tecnologia/que-es-open-ran>
- [6] Emfexplained, *Red troncal*. Recuperado el 25 de marzo de 2023 de <http://www.emfexplained.info/spa/?id=25916#:~:text=5G%20utiliza%20energ%C3%ADa%20de%20ondas,datos%20conectando%20as%C3%AD%20nuestra%20comunidad.&text=tambi%C3%A9n%20llamadas%20el%20Internet%20de,una%20escala%20nunc a%20antes%20vista>
- [7] J.M Vozmediano Torres, libro de apuntes *Estructura y Protocolos de Redes Públicas*. Protocolos de red. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla.
- [8] IBM, *Protocolo de red*. Recuperado el 03 de abril de 2023 de <https://www.ibm.com/docs/es/aix/7.2?topic=protocol-tcpip-protocols>
- [9] IBM, *Funcionamiento de la red*. Recuperado el 10 de abril de 2023 de <https://www.ibm.com/docs/es/aix/7.2?topic=protocol-tcpip-protocols>
- [10] OpenWebinars, *Protocolo IPV6*. Recuperado el 10 de abril de 2023 de

<https://openwebinars.net/blog/que-es-ipv6/>

[11] Maestros del Web, *Funcionamiento IPV6*. Recuperado el 10 de abril de 2023 de

<http://www.maestrosdelweb.com/evolucionando-hacia-el-ipv6/>

[12] A. Walabonso Lara Romero, libro de apuntes *Fundamentos de Internet*. Protocolo BGP. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla.

[13] Ccna, *Funcionamiento del protocolo BGP*. Recuperado el 15 de abril de 2023 de

<https://ccnadesdecero.es/bgp-border-gateway-protocol/>

[14] Juniper, *Funcionamiento del protocolo IS-IS*. Recuperado el 15 de abril de 2023 de

<https://www.juniper.net/documentation/us/en/software/junos/is-is/topics/concept/is-is-routing-overview.html>

[15] Eduardo Collado, *Adyacencia entre routers en el protocolo IS-IS*. Recuperado el 15 de abril de 2023 de

<https://www.eduardocollado.com/2021/04/06/integrated-is-is/>

[16] Emfexplained, *Usos de la Tecnología 5G*. Recuperado el 15 de abril de 2023 de

<http://www.emfexplained.info/spa/?id=25916#:~:text=5G%20utiliza%20energ%C3%ADa%20de%20ondas,datos%20conectando%20as%C3%AD%20nuestra%20comunidad.&text=tambi%C3%A9n%20llamadas%20el%20Internet%20de,una%20escala%20nunc a%20antes%20vista.>

[17] Ingeniería, *Ventajas y desventajas de la Tecnología 5G*. Recuperado el 20 de abril de 2023 de

<https://www.uao.edu.co/ingenieria/ventajas-desventajas-y-mitos-de-la-tecnologia-5g/>

[18] Alejandro Carballar Rincón, libro de apuntes *Fundamentos de Comunicaciones Ópticas*. Fibra Óptica, definición. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla.

[19] Alejandro Carballar Rincón, libro de apuntes *Fundamentos de Comunicaciones Ópticas*. Fibra Óptica, descripción de sus componentes y tipos de fibras. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla.

- [20] Redes zone, *Transceptor SFP*. Recuperado el 20 de abril de 2023 de <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-cable/que-es-transceptor-sfp/>
- [21] Huawei, *Definición de un equipo PTN*. Recuperado el 22 de abril de 2023 de <https://support.huawei.com/enterprise/es/routers/optix-ptn-950-pid-16547>
- [22] Huawei, *Interfaces de un equipo PTN*. Recuperado el 22 de abril de 2023 de https://www.alibaba.com/product-detail/Huawei-OptiX-PTN-950-Chassis-Packet_60741045110.html
- [23] Huawei, *Definición de un equipo ATN*. Recuperado el 22 de abril de 2023 de <https://carrier.huawei.com/~media/cnbg/downloads/product/fixed%20network/carrierip-router/atn%20910b-english-version.pdf>
- [24] Huawei, *Interfaces de un equipo ATN*. Recuperado el 22 de abril de 2023 de <https://carrier.huawei.com/en/products/fixed-network/carrier-ip/router/atn/atn910>
- [25] Huawei, *Definición de equipos Intermedios*. Recuperado el 22 de abril de 2023 de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Huawei-5U-size-compact-router-NetEngine-1600104343106.html#:~:text=Descripci%C3%B3n%20del%20producto-.Huawei%20NetEngine%208000%20M14,ahorra%20preciosos%20recursos%20de%20espacio.>
- [26] Huawei, *Interfaces de un equipo NE8000*. Recuperado el 23 de abril de 2023 de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Huawei-5U-size-compact-router-NetEngine-1600104343106.html#:~:text=Descripci%C3%B3n%20del%20producto-.Huawei%20NetEngine%208000%20M14,ahorra%20preciosos%20recursos%20de%20espacio.>
- [27] Huawei, *Definición de un equipo NE40*. Recuperado el 23 de abril de 2023 de <https://carrier.huawei.com/en/products/fixed-network/carrier-ip/router/ne40e>
- [28] Huawei, *Interfaces de un equipo NE40*. Recuperado el 23 de abril de 2023 de <https://carrier.huawei.com/en/products/fixed-network/carrier-ip/router/ne40e>
- [29] Huawei, *Definición de un equipo radio*. Recuperado el 23 de abril de 2023 de <https://carrier.huawei.com/en/products/wireless-network/microwave/split-mount-microwave/rtn900-series>

- [30] Huawei, *Interfaces de un equipo radio*. Recuperado el 23 de abril de 2023 de <https://support.huawei.com/enterprise/es/enterprise-network-microwave/optix-rtn-950-pid-60964>.
- [31] Huawei, *Definición de un equipo LAN SWITCH*. Recuperado el 23 de abril de 2023 de [https://www.profesionalreview.com/2020/02/21/switch-conmutador/#Que es un Switch o conmutador de red](https://www.profesionalreview.com/2020/02/21/switch-conmutador/#Que%20es%20un%20Switch%20o%20conmutador%20de%20red)
- [32] Huawei, *Interfaces de un equipo LAN SWITCH*. Recuperado el 23 de abril de 2023 de <https://e.huawei.com/es/products/enterprise-networking/switches/campus-switches/s3700>.
- [33] Wikipedia, *Protocolo MPLS*. Recuperado el 23 de abril de 2023 de [https://es.wikipedia.org/wiki/Multiprotocol_Label_Switching#MPLS \(conmutaci%C3%B3n multiprotocolo mediante etiquetas\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Multiprotocol_Label_Switching#MPLS_(conmutaci%C3%B3n_multiprotocolo_mediante_etiquetas))
- [34] Wikipedia, *Direccionamiento IP*. Recuperado el 30 de abril de 2023 de https://es.wikipedia.org/wiki/Direcci%C3%B3n_IP
- [35] IBM, *Tipo de direccionamiento IP*. Recuperado el 30 de abril de 2023 de <https://www.ibm.com/docs/es/aix/7.2?topic=addressing-subnet-addresses>
- [36] A. Walabonso Lara Romero, libro de apuntes *Fundamentos de Internet*, Reserva de IPs. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla.
- [37] Community, *Arquitectura protocolo MPLS*. Recuperado el 30 de abril de 2023 de <https://community.fs.com/es/blog/vpn-vs-mpls-difference.html>
- [38] Universidad Autónoma de Occidente, *Ventajas y Desventajas de la Tecnología 5G*. Recuperado el 30 de abril de 2023 de <https://www.uao.edu.co/ingenieria/ventajas-desventajas-y-mitos-de-la-tecnologia-5g/>
- [39] La Moncloa, *Proyecto Unico*. Recuperado el 30 de abril de 2023 de <https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/asuntos-economicos/Paginas/2021/070521-hoja-ruta-5g.aspx>

[40] American Tower, *Mapa de cobertura de American Tower*. Recuperado el 30 de abril de 2023 de

<https://americantower.es/es/company/global-presence/index.html>

[41] Cellnex, *Mapa de cobertura de Cellnex*. Recuperado el 30 de abril de 2023 de

<https://www.cellnex.com/es/>

[42] The Objective, *Infraestructura 5G en España*. Recuperado el 30 de abril de 2023 de

<https://www.theobjective.com/economia/2022-10-26/totem-orange-telefonica/>

