

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID**

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**



**PROYECTO FIN DE CARRERA**  
**Ingeniería de Telecomunicación**

*Integración de un nuevo nodo en la red de acceso  
móvil mediante solución FTTN FULL-IP*

---

**David Vaillant Canelada**

Julio 2016



*Integración de un nuevo nodo en la red de acceso  
móvil mediante solución FTTN FULL-IP*

**AUTOR: David Vaillant Canelada**

**TUTOR: Vanesa Naranjo Jimenez de Grupo Poas, empresa que se encuentra  
en Calle Bell, 24. 28906 Getafe, Madrid.**

**PONENTE: Jorge A. Ruiz Cruz (EPS, UAM)**

**Dpto. Radiocomunicaciones  
Escuela Politécnica Superior  
Universidad Autónoma de Madrid**

**JULIO de 2016**



## Resumen del proyecto

Con este proyecto, vamos explicar los conceptos teóricos más importante que se deben conocer para poder llevar a cabo la integración de un nuevo nodo de comunicaciones móviles en una red en funcionamiento. Será necesario que la integración no perjudique el funcionamiento de la misma, sino que al contrario, nos beneficie.

Cuando veamos el desarrollo practico que conlleva este trabajo, hablaremos del diseño radio, que se encarga de la integración y definición del nuevo nodo de comunicaciones, así como del diseño de transmisión, que se encargará de que este nodo se comunique a través de la red existente, instalando nuevas conexiones en esta.

Terminaremos con los presupuestos que se manejan con un trabajo de este tipo, dependiendo del tipo de instalación que se deba llevar a cabo, junto con las conclusiones y líneas futuras de trabajo en esta área.

## Abstract

In this project, we will explain the most important theoretical concepts that should be known to carry out the integration of a new node in an active mobile communications network. It will be required that integration does not impair the network performance, but on the contrary, it benefits us.

We are going to explain the practical development associated with this work. We write about radio design, which is responsible for the integration and definition of the new node communications. The transmission design will ensure that this node is communicated over the actual network installing new connections in this.

We finish with budgets that are handled with such work, depending on the type of installation that is carried out, in addition to conclusions and future lines of work in this area.

## **Acrónimos**

3GPP	Third Generation Partnership Project
BBU	BaseBand Unit
BSC	Base Station Controller
BTS	Base Transceiver Station
CAPEX	CAPital EXpenditure
CE	Customer Edge
CN	Core Network
CS	Circuit Switching
CSFB	Circuit Switched Fall-Back
CSG	Cell Site Gateway
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
eNB	Evolved Node B
EPC	Evolved Packet Core
EUTRAN	Enhanced UTRAN
FE	Fast Ethernet
FTTN	Fiber To The Node
GE	Giga Ethernet
GGSN	Gateway GPRS
GPRS	General Packet Radio System
GSM	Global System Mobile
HO	HandOver
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IMS	IP Multimedia Subsystem
IMT	International Mobile Telecommunications
IP	Internet Protocol
ISIM	IP SIM
LAN	Local Area Network
LLC	Logical Link Control
LTE	Long Term Evolution
MAC	Media Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MEF	Metro Ethernet Forum
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobility Management Entity
MPLS	Multi Protocol Label Switching
MPR	Microwave Packet Radio
MPT	Microwave Packet Transport
MSC	Mobile Switching Center
MSO	Multiple-System Operator
NB	Node B

OAM	Operation And Maintenance
OPEX	Operational EXpenditure
PE	Provider Edge
PFoE	Power Feed over Ethernet
PHY	Physical
PIN	Personal Identification Number
PMW	Packet MicroWave
POC	Point Of Concentration
POP	Point Of Presence
PS	Packet Switching
PWE3	PseudoWire Emulation Edge to Edge
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
RFC	Request for Comments
RNC	Radio Network Controller
RRU	Remote Radio Unit
RSCP	Received signal code power
SGSN	Serving GPRS Support Node
SGW	Serving GateWay
SIM	Subscriber Identity Module
SIU	Subscriber Indoor Unit
SRVCC	Single Radio Voice Call Continuity
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USIM	Universal Subscriber Identity Module
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VANC	VoLGA Access Network Controller
VFI	virtual forwarding instance
VoIP	Void over IP
VoLGA	Voice over LTE GAN
VoLTE	Voice over LTE
VPLS	Virtual Private LAN Service
VPN	Virtual Private Network
WAN	Wide Area Network

## Agradecimientos

Y llegó el momento en que lo único que me faltaba por escribir de mi proyecto, eran los agradecimientos...

Hubo momentos en los que pensé que nunca llegaría hasta este punto. Temas profesionales, de salud, la vida en general... Siempre parecía que había otra cosa que hacer que enfrentarme al proyecto. Hubo momentos en los que lo veía como una fortaleza infranqueable, algo que no sabía por dónde atacar. Pero ahí detrás estuvo mi esposa Melina, para darme un abrazo cuando lo necesitaba, o una colleja cuando lo necesitaba. Y antes de ella, mi madre, que me ayudó a enfrentarme a la carrera cuando parecía que las materias iban a avasallarme.

A mi familia, mis hermanos, que siempre pensaron que lo lograría, y en especial, dedicado a mi padre, que me inculcó la perseverancia, y que allá donde esté, espero que se sienta orgulloso.

Esta carrera me ha exigido mucho, pero también me ha dado mucho. Gracias a ella, pude estudiar en México, donde conocí al amor de mi vida, y pude ver que el mundo era más grande y maravilloso de lo que podía imaginar. Conocí a mucha gente durante mis estudios, pero siempre me acordaré de mi compañero Javier, juntos en las clases, prácticas, biblioteca y cafetería hasta el final.

Entre tantas asignaturas y tantos profesores, algunos de ellos destacaron para mí. Bien por ser duros, pero justos, o bien por fomentar mi capacidad de esforzarme siempre un poco más. Alguno de ellos, estarán el día que defienda este proyecto, pero menciono especialmente a Jorge, que aceptó ser mi ponente y me animó a empezar este.

Estos estudios me han permitido trabajar en el mundo profesional de las comunicaciones móviles, donde he podido conocer a grandes compañeros de trabajo. Mi compañero Ivan, que fue quien me animó a que empezara este proyecto en mi antigua empresa, y mi compañera Vanesa, que muy amablemente aceptó ser mi tutora en la nueva. Me ha dado muy buenos consejos, y ha tenido que leerse muchos borradores hasta llegar a esta versión final.

# Índice

<b>1. Integración</b> .....	15
<b>1.1. 2G</b> .....	15
<b>1.1.1. GSM</b> .....	15
<b>1.1.2. GPRS</b> .....	15
<b>1.1.3. EDGE</b> .....	16
<b>1.2. 3G</b> .....	16
<b>1.2.1. UMTS</b> .....	16
<b>1.2.2. HSPA</b> .....	16
<b>1.2.3. HSDPA</b> .....	16
<b>1.2.4. HSUPA</b> .....	16
<b>1.3. 4G</b> .....	17
<b>1.3.1. LTE</b> .....	17
<b>1.3.2. LTE-Advanced</b> .....	17
<b>2. Red de Acceso móvil</b> .....	18
<b>2.1. Terminales</b> .....	18
<b>2.2. Acceso</b> .....	18
<b>2.3. Transporte</b> .....	19
<b>2.4. Core</b> .....	19
<b>2.5. Red 2G</b> .....	19
<b>2.5.1. Terminales</b> .....	19
<b>2.5.2. Acceso</b> .....	19
<b>2.5.3. Transporte</b> .....	19
<b>2.5.4. Core</b> .....	19
<b>2.6. Red 3G</b> .....	20
<b>2.6.1. Terminales</b> .....	20
<b>2.6.2. Acceso</b> .....	20
<b>2.6.3. Transporte</b> .....	20
<b>2.6.4. Core</b> .....	20
<b>2.7. Red 4G</b> .....	20
<b>2.7.1. Terminales</b> .....	20
<b>2.7.2. Acceso</b> .....	20
<b>2.7.3. Transporte</b> .....	21
<b>2.7.4. Core</b> .....	22
<b>2.8. Llamadas de voz</b> .....	22
<b>2.8.1. VoLTE</b> .....	22

2.8.2. VoLGA .....	23
2.8.3. CSFB .....	23
2.8.4. SRVCC .....	23
2.9. Equipos en la red de acceso .....	24
2.9.1. Antenas.....	24
2.9.2. Módulos RF.....	26
2.9.3. Módulos de sistema.....	27
2.9.4. Módulos de transporte .....	27
2.9.5. Módulo de alimentación.....	27
2.10. Single RAN .....	28
3. FTTN .....	29
3.1. Equipos en la red de transmisión .....	30
3.1.1. Equipo concentrador de fibra óptica.....	30
3.1.2. PMW.....	33
4. Full IP.....	39
4.1. IP .....	39
4.1.1. IPv6.....	40
4.2. Ethernet.....	40
4.2.1. Medio de soporte físico .....	41
4.2.2. Control de acceso al medio .....	41
4.2.3. Control de enlace lógico.....	41
4.3. Creaciones de redes más allá de las LAN: Redes de área metropolitana (MAN) y redes de área ancha (WAN) .....	41
4.4. Carrier Ethernet.....	43
4.5. MPLS.....	44
4.5.1. VPLS.....	45
5. Escenarios.....	47
5.1. Sharing.....	47
5.1.1. Pasivo .....	47
5.1.2. Activo.....	47
5.2. 1 operador 1 vendor .....	48
5.3. 1 operador 2 vendors .....	48
5.4. 2 operadores 1 vendor.....	49
5.5. 2 operadores 2 vendors .....	51
6. Caso práctico .....	52
6.1. Trabajos previos .....	52

6.1.1. Visita de campo .....	52
6.2. Diseño radio .....	54
6.2.1. Instalación de equipo.....	54
6.2.2. Creación de plantillas.....	54
6.2.3. Carga de plantillas.....	55
6.3. Diseño de transmisión .....	55
6.3.1. Instalación de equipo.....	55
6.3.2. Diseño del enrutamiento .....	61
6.3.3. Diseño IP LINE .....	64
6.3.4. Carga en los gestores .....	65
6.4. Puesta ON AIR .....	65
6.5. Monitorización .....	65
6.5.1. Drive test .....	69
6.6. Optimización (optativo).....	73
6.7. Informe de aceptación.....	73
7. Trabajos futuros .....	74
7.1. 5G .....	74
Bibliografía.....	75
Relación de figuras .....	75
Anexo .....	76
Presupuesto .....	76
Coste material .....	76
Gastos generales .....	76
Beneficio industrial.....	76
Coste de equipación .....	77
Honorarios proyecto.....	80
Material fungible .....	81
Subtotal del presupuesto .....	81
I.V.A aplicable.....	81
Total presupuesto.....	81
Pliego de condiciones .....	83
Condiciones generales .....	83
Condiciones particulares .....	85

## Índice de figuras

Figura 1. Evolución hacia una arquitectura "todo IP" .....	17
Figura 2. Esquema simplificado de una red de telecomunicaciones, con sus distintas partes ...	18
Figura 3. Arquitectura plana de LTE .....	21
Figura 4. Arquitectura E-UTRAN (RAN en LTE) .....	21
Figura 5. Funcionamiento de la red para una llamada de voz usando la solución de 4G VoLTE.	22
Figura 6. Funcionamiento de la red para una llamada de voz usando la solución de 4G VoLGA	23
Figura 7. Modelo de una antena de la compañía Alcatel-Lucent .....	24
Figura 8. Diagrama de radiación Horizontal de una antena de la compañía HP .....	25
Figura 9. Orientación de los sectores de una antena respecto de su norte.....	25
Figura 10. Representación de como el tilt de una antena afecta al área de cobertura de un nodo .....	26
Figura 11. Módulo RF de la compañía Huawei .....	26
Figura 12. Módulo de sistema de la compañía Huawei .....	27
Figura 13. Modelo de un nodo en la red de acceso con sus diferentes equipos .....	28
Figura 14. Conexión directa del nodo con equipo concentrador de fibra óptica .....	29
Figura 15. Conexión del nodo con equipo de radioenlace hasta equipo concentrador de fibra óptica .....	29
Figura 16. Diagrama de transmisión con túneles LSP .....	30
Figura 17. Equipos concentradores de fibra óptica de la compañía Huawei .....	31
Figura 18. Repartidores ópticos y eléctricos de la compañía Nokia .....	32
Figura 19. Conjunto de disyuntores instalados en el emplazamiento .....	32
Figura 20. Modelo de un equipo concentrador de fibra óptica con sus diferentes equipos .....	33
Figura 21. Antenas de un radioenlace de la compañía Alcatel-Lucent .....	34
Figura 22. Modelo de un equipo ODU de la compañía Alcatel-Lucent .....	35
Figura 23. Guía de onda flexible que conecta una antena con un equipo ODU no integrado ....	35
Figura 24. Equipo acoplador de la compañía Alcatel-Lucent .....	36
Figura 25. Ejemplo de la instalación de los diferentes módulos en un equipo IDU .....	36
Figura 26. Equipo IDU de la compañía Alcatel-Lucent .....	37
Figura 27. Modelo de un radioenlace de alta capacidad con sus diferentes equipos .....	38
Figura 28. Pila de capas o niveles del modelo OSI (Open System Interconnection).....	39
Figura 29. Ethernet tal y como se define en el modelo de capas por el IEEE (en contraposición al modelo OSI) .....	41
Figura 30. La Red más allá del LAN, segmentada en Acceso, MAN y WAN.....	42
Figura 31. Esquema de una conexión VPLS .....	46
Figura 32. Toda el área de nuestro operador sería cubierto por un único vendor .....	48
Figura 33. El área de cobertura de nuestro operador estaría diferenciada dependiendo del vendor .....	48
Figura 34. En un caso de compartición sharing el área de cobertura se dividiría entre los operadores .....	49
Figura 35. Estado de la red de comunicaciones móviles cuando cada operador opera de manera independiente.....	49
Figura 36. En un sharing se desmontan los equipos de acceso y transmisión de uno de los operadores .....	50
Figura 37. Se conectan los equipos de transmisión finales del operador que mantiene la red al núcleo del otro operador .....	50
Figura 38. División del área de cobertura entre los diferentes operadores y vendors .....	51

Figura 39. Mapa de la zona donde se quiere mejorar la cobertura .....	52
Figura 40. Localización de candidatos.....	53
Figura 41. Localización de los diferentes candidatos con los nodos de su entorno .....	56
Figura 42. Líneas de medida del candidato A con los nodos de su entorno .....	56
Figura 43. Perfil de elevación del candidato A con el Nodo 4 .....	57
Figura 44. Líneas de medida del candidato B con los nodos de su entorno .....	57
Figura 45. Mejor perfil de elevación del candidato B .....	58
Figura 46. Perfil de elevación del candidato B con el nodo más próximo .....	58
Figura 47. Líneas de medida del candidato C con los nodos de su entorno .....	59
Figura 48. Primer mejor perfil de elevación del candidato C .....	59
Figura 49. Segundo mejor perfil de elevación del candidato C .....	60
Figura 50. Perfil de elevación del candidato C con su nodo más próximo.....	60
Figura 51. Línea de vista desde el emplazamiento existente hacia nuestro nuevo emplazamiento.....	62
Figura 52. Equipos instalados en el emplazamiento existente donde se instalaría la nueva antena del radioenlace .....	63
Figura 53. Línea de medida entre el emplazamiento existente y nuestro nuevo nodo .....	64
Figura 54. Perfil de elevación entre emplazamientos.....	64
Figura 55. Diseño de las IPs en los diferentes interfaces de una conexión LSP.....	65
Figura 56. Captura del gestor de inventariado del operador .....	65
Figura 57. Scanner para la medida de estadísticas del nodo .....	70
Figura 58. Antena instalada en el vehículo que llevará a cabo las medidas .....	70
Figura 59. Medida de la orientación de los sectores 2G de nuestro nodo .....	71
Figura 60. Medida de la potencia de recepción 2G de nuestro nodo.....	71
Figura 61. Medida de la orientación de los sectores 3G de nuestro nodo .....	72
Figura 62. Medida de la potencia de código 3G de nuestro nodo.....	72

## Índice de tablas

Tabla 1. Estadísticas de los tres sectores 2G de nuestro nodo.....	66
Tabla 2. Umbrales 2G que deben cumplir nuestros diseños.....	66
Tabla 3. Estadísticas de los tres sectores y diferentes portadoras 3G de nuestro nodo .....	67
Tabla 4. Umbrales 3G que deben cumplir nuestros diseños.....	68
Tabla 5. Estadísticas del entorno 2G antes y después de la puesta ON AIR de nuestro nodo ....	68
Tabla 6. Umbrales del entorno 2G que deben cumplir nuestros diseños.....	68
Tabla 7. Estadísticas del entorno 3G antes y después de la puesta ON AIR de nuestro nodo ....	69
Tabla 8. Umbrales del entorno 3G que deben cumplir nuestros diseños.....	69
Tabla 9. Coste material inicial.....	76
Tabla 10. Coste de oficina más extra de empleado .....	76
Tabla 11. Coste de integración de un nodo con un equipo de fibra óptica CSG .....	77
Tabla 12. Coste de integración de un nodo con un equipo de fibra óptica POC.....	77
Tabla 13. Coste de integración de un nodo con un equipo de fibra óptica POP .....	77
Tabla 14. Coste de integración de un nodo con un equipo de fibra óptica PMW .....	78
Tabla 15. Desglose del coste de un nodo .....	78
Tabla 16. Desglose de un equipo CSG.....	79
Tabla 17. Desglose de un equipo POC.....	79
Tabla 18. Desglose de un equipo POP.....	79

Tabla 20. Coste total del inicio de un proyecto .....	80
Tabla 21. Coste de material fungible .....	81
Tabla 22. Subtotales de presupuesto, dependiendo del equipo a instalar .....	81
Tabla 23. Gasto en I.V.A dependiendo del equipo a instalar .....	81
Tabla 24. Presupuesto total dependiendo del equipo que se decida instalar .....	81

## 1. Integración

Cuando un operador de red detecta la necesidad de aumento de cobertura móvil de una zona, lleva a cabo un estudio para la instalación de un nuevo nodo de comunicaciones, y así satisfacer las necesidades de sus usuarios en particular, y de la red en general.

Esta necesidad de cobertura, puede deberse a las siguientes razones:

- Una zona de nueva construcción (zona urbana o vías) donde no se creía necesario dar cobertura, que ahora lo requiere.
- Mejora de la cobertura actual, ya que esta puede degradarse por diversos motivos (equipos estropeados, interferencias externas o con celdas adyacentes, etc.).
- Cambio de emplazamiento por rescisión del contrato con el emplazamiento actual (en este caso es probable que mantengamos el equipo actual).
- Decisión por parte del proveedor de aumentar la capacidad de su red actual.

Sea cual sea la razón, en estos últimos años, los avances en la tecnología ha tenido un gran impacto en la industria de las telecomunicaciones, lo cual se ha visto reflejado en la utilización que le han dado los consumidores a sus dispositivos portátiles.

Los consumidores buscan tener los servicios dados por sus tradicionales redes fijas, de una manera más versátil, queriendo tener una conectividad continua, en cualquier momento, en cualquier lugar, y a la máxima capacidad posible.

Teléfonos móviles Smartphone, Tablet, dispositivos móviles de videojuegos, etc. Cada vez son más los equipos finales de usuario los que disponen de conectividad inalámbrica, para los cuales, se necesitará dar servicio.

El objetivo de los operadores es obtener el máximo beneficio, ofreciendo a los consumidores lo que denominaremos, Quadruple Play: TV, Internet y Telefonía todas ellas de una manera móvil.

Esto hace que se estén modernizando los equipos móviles de la red actuales, para ofrecer además de las actuales tecnología 2G y 3G, la 4G (o LTE), lo que lleva a un tamaño de celdas menor (para poder dar mayor capacidad tiene que hacerse en áreas menores), por lo que se necesita un aumento de la cantidad de nodos en la red.

### **1.1. 2G**

Después del boom de las comunicaciones móviles inalámbricas, prácticamente para fabricante de equipos empezó a emplear su propia tecnología de comunicaciones, siendo esta analógica (lo que se llamó 1G). Esto propició que surgieran múltiples tecnologías, sin que ninguna de ellas fuera predominante frente a las demás [1].

#### **1.1.1. GSM**

En un intento por crear una única tecnología que pudiera recoger el testigo de las múltiples de 1G, en Europa se creó el 2G, la cual ya empleaba tecnología digital para sus comunicaciones. Aunque compitió con otras tecnologías creadas por otros grupos de estandarización en Asia o América del Norte, se terminó convirtiendo en la tecnología predominante, y por lo tanto estándar mundial de facto.

#### **1.1.2. GPRS**

El servicio de GSM podía trabajar con tráfico de voz y pequeños servicios de datos, pero trabajando en una red de conmutación de circuitos, este tráfico era muy pequeño. Esta fue la

razón de que se creara el GPRS, una tecnología 2G que empleaba la conmutación de paquetes para solventar esta cada vez más creciente necesidad de emplear servicio de datos. Esta es la razón de que sea conocida como 2.5G.

### 1.1.3. EDGE

Al contrario de lo que ocurrió con el 1G cuando llegó el 2G, cuando el 3G comenzó a instalarse en los nodos de comunicaciones, el 2G en lugar de desinstalarse, se utilizó como apoyo a la nueva tecnología. Esto derivó en una mejora del GPRS, y una tecnología puente entre el 2G y el 3G, siendo nombrada como 2.75G.

## 1.2. 3G

Debido al creciente número de dispositivos personales, y un consumo cada vez mayor de datos en los dispositivos portátiles, dio lugar a un aumento de la cantidad de nodos en la red. Estos nodos debían adaptarse a las nuevas necesidades solicitadas, tales como mayor seguridad y velocidades de transmisión [2].

### 1.2.1. UMTS

La tecnología 2G emplea multiplexación por frecuencias, lo cual es muy problemático debido al número finito de las mismas por cada operador de red. Adquirir una de estas licencias de frecuencias era caro, por lo que con el 3G se comenzó a utilizar la multiplexación por códigos, lo cual hace posible que todos los nodos trabajen a la misma frecuencia.

Al tener que trabajar con voz y datos a la vez, la red 3G está preparada para trabajar con conmutación de circuitos y de paquetes indistintamente. Sin embargo, puesto que las redes 2G y 3G coexisten, normalmente se utiliza la red 3G para transmitir los datos y la 2G para la voz.

### 1.2.2. HSPA

El organismo regulador del 3G, el 3GPP, mejoró las prestaciones de la tecnología con la introducción del HSPA. Se consigue una gran mejora empleando el espectro electromagnético de una forma más eficiente, lo que mejora la velocidad y latencia de la transferencia de datos, y se traduce en una mejor experiencia de usuario [3].

El termino HSPA engloba a dos tecnologías distintas, las cuales es difícil ver por separado. Cada una de ellas funciona con una licencia de trabajo distinta, por lo que si nuestro nodo únicamente trabaja con una de ellas, lo más probable es que sea por tema administrativo. Deberán estar ambas instaladas para conseguir un ratio de transferencia simétrico.

### 1.2.3. HSDPA

Esta es una mejora del enlace descendente, lo que se consigue aumentando la potencia de radiación del nodo. Esta es una de las principales razones por las que es necesario solicitar permiso de la administración de la zona para su instalación. Esta nueva tecnología es conocida como 3.5G.

### 1.2.4. HSUPA

Esta es una mejora del enlace ascendente, de manera similar a lo que ocurre con el enlace descendente, el dispositivo del usuario tiene que estar preparado para emplear esta nueva tecnología llamada 3.75G.

La documentación del 3GPP es conocida como Releases, y se ha trabajado en diferentes versiones, para conseguir que todo el tráfico de voz y de datos se termine llevando por una red completamente IP. Esto es algo que veremos más adelante.

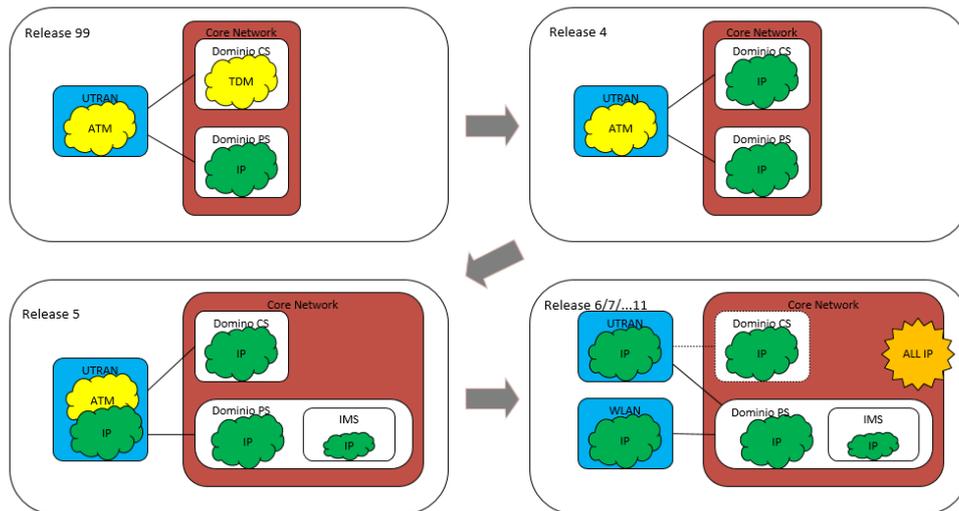


Figura 1. Evolución hacia una arquitectura "todo IP"

### 1.3. 4G

La cantidad de contenido multimedia disponible hoy día ha crecido en una cantidad indescriptible. El disponer de redes de fibra óptica en los hogares ha posibilitado el trabajar desde el hogar para cualquier empresa en cualquier parte del mundo. Servicios de backup online, entretenimiento, conectividad a una escala global...Y todo esto, se quiere tener disponible en la palma de la mano en cualquier lugar, lo que ha dado lugar a las comunicaciones móviles de banda ancha [4].

#### 1.3.1. LTE

La tecnología LTE creada por el grupo 3GPP compitió con el WiMax creado por el IEEE en el estándar 802.16, para ser la predominante en el nuevo mercado de la banda ancha móvil. Y aunque finalmente se impuso el LTE frente a su competidor, esta no cumplía los requerimientos del IMT para considerarse todavía 4G, por lo que se le conoce como 3.9G.

#### 1.3.2. LTE-Advanced

Con las mejoras introducidas en las nuevas Releases por el grupo de 3GPP, el LTE-Advanced ya cumple las especificaciones del IMT-Advanced pudiendo considerarse la tecnología 4G.

Las altas velocidades de transmisión en 4G, se fundamentan en dos pilares fundamentales:

1. Utilización de MIMO. Al emplear más de una antena para la transmisión y recepción, podemos aprovecharnos de utilizar diferentes rutas en la misma frecuencia y al mismo tiempo para aumentar el flujo de datos.
2. Utilización del protocolo IP. Toda transmisión 4G, se hará utilizando IP. Esto no quiere decir que toda comunicación IP sea únicamente 4G, ya que como hemos mencionado anteriormente, las últimas tecnologías 2G y 3G también se aprovechan de esta funcionalidad en sus transmisiones.

Además, la tecnología 4G, deja de utilizar por completo la conmutación de circuitos para emplear exclusivamente la conmutación de paquetes. De esta manera, nuestras comunicaciones de voz tendrán que usarse como datos (comunicación llamada VoIP), o buscarse alternativas para este tráfico. Más adelante, cuando veamos las diferencias en las redes de comunicaciones, explicaremos los diferentes casos.

## 2. Red de Acceso móvil

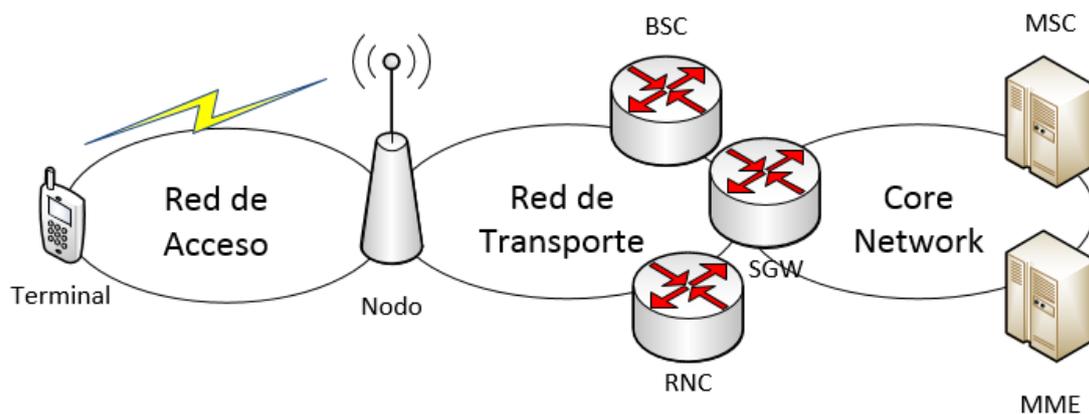
Veremos los diferentes elementos que componen la red de acceso móvil para cada una de las tecnologías.

Para que se lleve a cabo la comunicación entre nuestro equipo de usuario (Terminal) con otro equipo independientemente de donde se encuentre este, deben ponerse en funcionamiento muchos equipos distintos dentro de la red de los operadores involucrados en dicha comunicación.

Dependiendo del tipo de comunicación (voz, datos, etc.), se verán involucrados unos elementos distintos. Estos pueden pertenecer a diferentes fabricantes (vendors), y no tienen que ser iguales en cada comunicación.

Estos equipos dentro de la red, establecerán una ruta dentro de la misma, conectándose unos contra otros para llevar a cabo la comunicación a través de ella.

Desde el punto de vista de diseño, una red se puede dividir en tres partes bien diferenciadas.



*Figura 2. Esquema simplificado de una red de telecomunicaciones, con sus distintas partes*

### 2.1. Terminales

Son los dispositivos que permiten a los usuarios conectarse al canal de comunicaciones. Es individual para cada usuario, y aumentan en cantidad cada vez más.

### 2.2. Acceso

Es llamada Radio Access Network (RAN). Es la infraestructura de estaciones de radio a las que se conectan los terminales de usuario. La red de acceso significa un porcentaje muy elevado del coste total de una red de telecomunicaciones, ya que suele ser compartido por distintos tipos de redes. Este segmento de red condiciona el tipo de servicios y contenidos que se pueden proveer.

Las antenas de estaciones base, pueden ser omnidireccionales (dando cobertura en un radio de 360°) o direccionales. Lo habitual era instalar entre 1 y 3 sectores con antenas sectoriales de 120°, dependiendo de las necesidades de cobertura, sin embargo, hoy día es fácil encontrar estaciones con 4 sectores y diagramas de radiación de 90°.

## 2.3. Transporte

También llamada Transport Backhaul. Son los enlaces que transportan el tráfico de usuario (voz y datos) desde las estaciones de radio, al núcleo de red. La red de transporte y conmutación lo forman nodos de conmutación que se enlazan entre sí mediante líneas de alta capacidad. Esta red ha ido evolucionando con la tecnología. Como veremos a continuación. Su estructura ha ido variando, dejando algunos de sus equipos obsoletos, teniendo que modificar su funcionalidad, o habiendo que añadir nuevos elementos.

## 2.4. Core

La red de conmutación o núcleo de red (Core Network). Su principal función, es la de realizar las conexiones necesarias para que dos terminales remotos se comuniquen entre sí, manteniendo la integridad y seguridad.

## 2.5. Red 2G

Vamos a ver la red de acceso móvil para la tecnología 2G [5].

### 2.5.1. Terminales

Para conectarnos a una red 2G, necesitamos nuestro dispositivo capaz en que instalaremos una tarjeta SIM. Esta tarjeta permite a los usuarios el acceder a los servicios suscritos por el mismo, ya que los identifica unívocamente en la red del operador. Su funcionalidad más conocida, es la de proteger el uso del terminal frente a un usuario extraño con un código de 4 dígitos llamado PIN.

### 2.5.2. Acceso

La estación base a la que nos conectaremos en la red de acceso 2G es conocido como BTS. Su funcionalidad es muy simple, se encarga de procesar las señales radio para su transmisión por la red de transporte y viceversa. Como hemos visto, recibe el nombre de RAN.

### 2.5.3. Transporte

Desde la estación base hasta el núcleo de red, una serie de elementos se encargarán de transportar nuestras tramas de información. Este conjunto de elementos forman la red de transporte, y el último de ellos, que se encarga de la conexión con el núcleo de red, es la BSC. La BSC se encarga de coordinar la transferencia de llamadas entre distintas BTS (handover).

### 2.5.4. Core

Puesto que las estaciones base en las redes 2G realizan un trabajo muy simple, es el núcleo de la red el que se encarga de la mayor carga de trabajo en una comunicación móvil. Esto deriva en unas altas latencias en este tipo de comunicaciones, ya que incluso una comunicación entre dos terminales asociados al mismo BTS, debe llegar como mínimo hasta la BSC. En caso de tener que conectarnos a un BSC distinto, tendremos que hacerlo a través del equipo de control de los mismo, el MSC. Hay muchos elementos en el núcleo, pero este es el más importante para nosotros. Es el equivalente de una central de conmutación digital en la red fija, pero para el tráfico móvil. Se encarga de la conmutación telefónica del sistema así como del control de llamadas, y la funcionalidad más importante para el operador de la red, se encarga de la facturación de una llamada.

## 2.6. Red 3G

De igual manera, veremos las características de una red de acceso móvil para la tecnología 3G [5].

### 2.6.1. Terminales

En el caso de conectarnos a una red 3G, en nuestro dispositivo utilizaremos una SIM distinta, llamada USIM. Esta tarjeta contiene un software para telefonía móvil UMTS que nos permitirá conectar a las redes 2G y 3G, además de ofrecer mayor seguridad en la conexión.

### 2.6.2. Acceso

La estación base en el caso de 3G, es más evolucionada que en el caso de 2G, y es llamada Nodo B. Puesto que las comunicaciones 3G son por multiplexación de códigos, es la estación la que se encarga de la modulación, de la corrección de errores, y del ajuste de la tasa de transmisión. Puede participar en el control de potencia del terminal de usuario, además de medir la potencia de la señal recibida del terminal para informar a la RNC para realizar si es necesario el proceso de handover. Otras funcionalidades de estas estaciones base, son la sincronización de tiempo y frecuencia.

Al añadir tantas funcionalidades a esta parte de la red, se considera distinta de la red básica (RAN), y recibe el nombre de UTRAN.

### 2.6.3. Transporte

En las redes 3G, el tráfico de datos se lleva desde los nodos B hasta un equipo de final de transporte, las RNC. Además de tener las mismas funcionalidades que una BSC, ha tenido que adquirir algunas extra, para poder manejar las transmisiones a través de CS y PS indistintamente. Se encarga de la gestión y optimización de los recursos radio, de establecer y liberar las conexiones, así como del traspaso de llamadas.

### 2.6.4. Core

Como hemos visto anteriormente, el núcleo de red en la tecnología 3G incluye un dominio de conmutación de circuitos y un dominio de conmutación de paquetes. Por lo que los elementos del núcleo formarán parte de ambos dominios. Por un lado, tenemos el MSC que realiza la misma funcionalidad que en el caso 2G (CS), y por otro, los SGSN y GGSN (PS). El SGSN se encarga de la transmisión de los paquetes de datos desde y para las estaciones base que se encuentran en su área de servicio. El GGSN se encarga de las transmisiones que se realizan desde y hacia fuera de la red donde está instalado.

## 2.7. Red 4G

Por último, veremos las distintas partes de la red de acceso móvil cuando nuestra tecnología es 4G [5].

### 2.7.1. Terminales

De la misma manera en los otros casos, para acceder a una red 4G, tenemos que insertar en nuestros dispositivos una tarjeta ISIM, la cual es una tarjeta SIM que permite a nuestro terminal el identificarnos y autenticarnos en los subsistemas IP IMS.

### 2.7.2. Acceso

El mayor de los cambios en la red 4G, es la introducción en la red de acceso de las estaciones base llamadas eNodo B. Por primera vez, las estaciones base se conectan entre ellas con un enlace propio, lo que evita el tener que llegar hasta el núcleo de red para llevar a cabo la

conectividad entre diferentes terminales. La mayoría de la inteligencia de la red se traslada a estos equipos, dejando un núcleo muy simplificado, esto es llamada arquitectura plana de LTE.

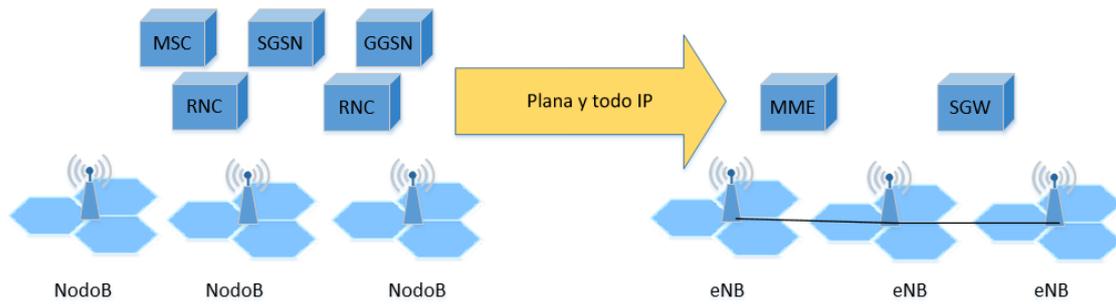


Figura 3. Arquitectura plana de LTE

La interfaz que conectada los eNodo B se llama X2, y crea una red mallada (mesh). Como las estaciones base pueden comunicarse directamente, llevan a cabo un intercambio de información y señalización de una manera muy rápida, lo que facilita el llevar a cabo handover entre ellos.

Al igual que ocurría en la red 3G, al haber aumentado la funcionalidad de esta red, esta recibe un nombre distinto EUTRAN. El core al verse también muy simplificado, cambiará de nombre, pero eso lo veremos en el siguiente apartado.

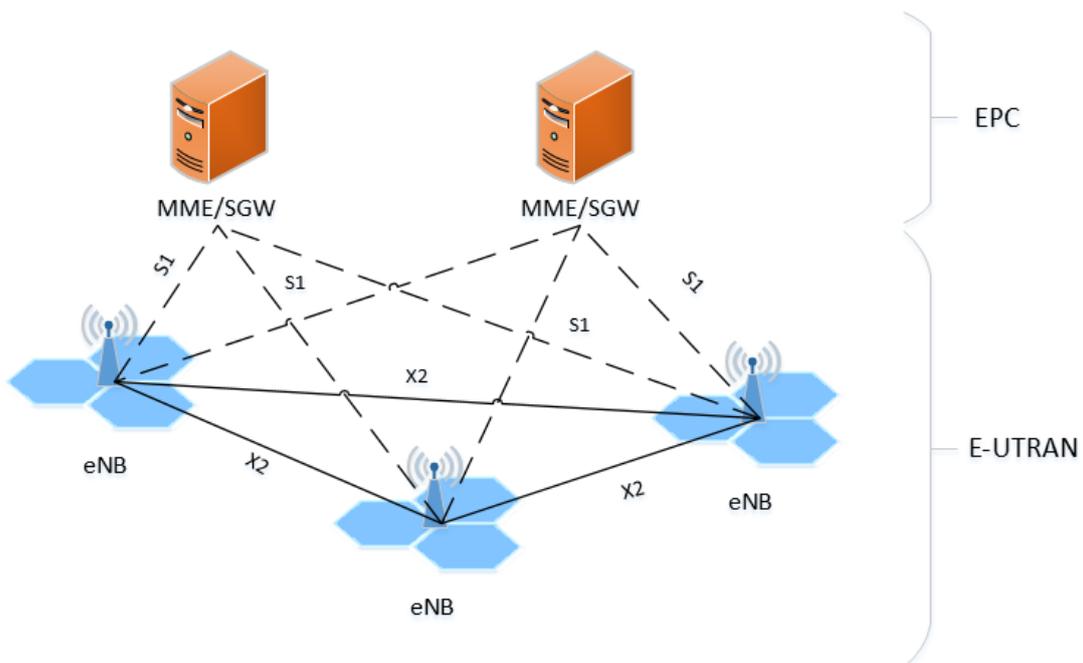


Figura 4. Arquitectura E-UTRAN (RAN en LTE)

### 2.7.3. Transporte

Al utilizarse únicamente transporte IP en los servicios de 4G, se establecerán túneles de servicio a través de la red de transporte, los cuales terminan en un equipo SGW. Sirve como punto de monitorización, y depende directamente del elemento de núcleo.

#### 2.7.4. Core

Debido a la gran simplificación de la red en 4G, su core recibe el nombre de EPC, la cual se basa enteramente en el protocolo IP. Lo elemento más importante, es el MME, el cual autentica, autoriza y selecciona la redes de datos externa cuando es necesario conectarse a servicios fuera de la red. Además de llevar la facturación del terminal, sirve para conectar nuestro eNodo B contra las redes 2G y 3G existentes.

#### 2.8. Llamadas de voz

Hemos visto las diferencias entre las redes dependiendo de la tecnología. En el caso de 2G, la red estaba originalmente pensada para llevar únicamente servicios de voz, y al utilizarse la conmutación de circuitos, este servicio se realizaba en tiempo real. Cuando se introdujo el 3G, se empleaba la conmutación de circuitos cuando el servicio era de voz, y la conmutación de paquetes cuando el servicio era de datos. De esta manera, una única tecnología podía encargarse de ambas partes en nuestra comunicación. Sin embargo, puesto que al instalar la tecnología 3G, el 2G todavía se mantenía en funcionamiento, se empezó a utilizar una nueva solución. Cuando nuestro terminal estuviera conectado al 3G, si la comunicación que realizábamos era de datos, nos manteníamos conectados, mientras que si era de voz, nuestro terminal se conectaba al 2G para realizar la llamada. De esta manera, manteníamos los dos servicios bien diferenciados, y podíamos ofrecer una experiencia de usuario más grata. Sin embargo, con la instalación de 4G la solución dual de emplear CS y PS ya no era posible, ya que esta tecnología únicamente es capaz de trabajar en el dominio de los paquetes. El considerar una llamada de voz como una transmisión de datos, no siempre es la mejor solución, pues puede no sentirse como un servicio en tiempo real tal y como ocurría en el 2G, por lo que se contemplaron 4 soluciones bien diferenciadas.

##### 2.8.1. VoLTE

La solución de VoLTE cursa las llamadas de voz a través del propio 4G, pero se tiene que apoyar en un nuevo subsistema IP llamado IMS. Esta sería la opción más costosa inicialmente, ya que requiere de la instalación de un nuevo sistema, y el emplear un protocolo IP, pero a largo plazo, sería la más recomendable.

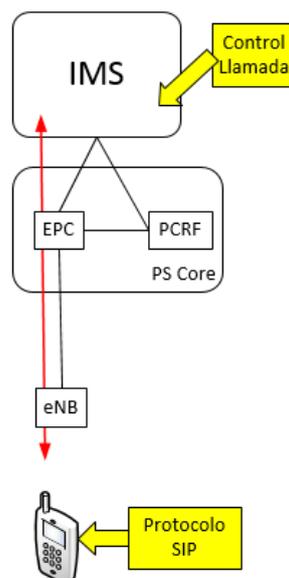


Figura 5. Funcionamiento de la red para una llamada de voz usando la solución de 4G VoLTE

### 2.8.2. VoLGA

Con esta solución, los usuarios de LTE pueden recibir una serie de servicios de conmutación de circuitos tales como la voz, haciéndose una transición hacia las redes 2G y 3G. Esta es una solución más barata que la de VoLTE, ya que se puede reutilizar los MSC existentes para cursar este tráfico de voz.

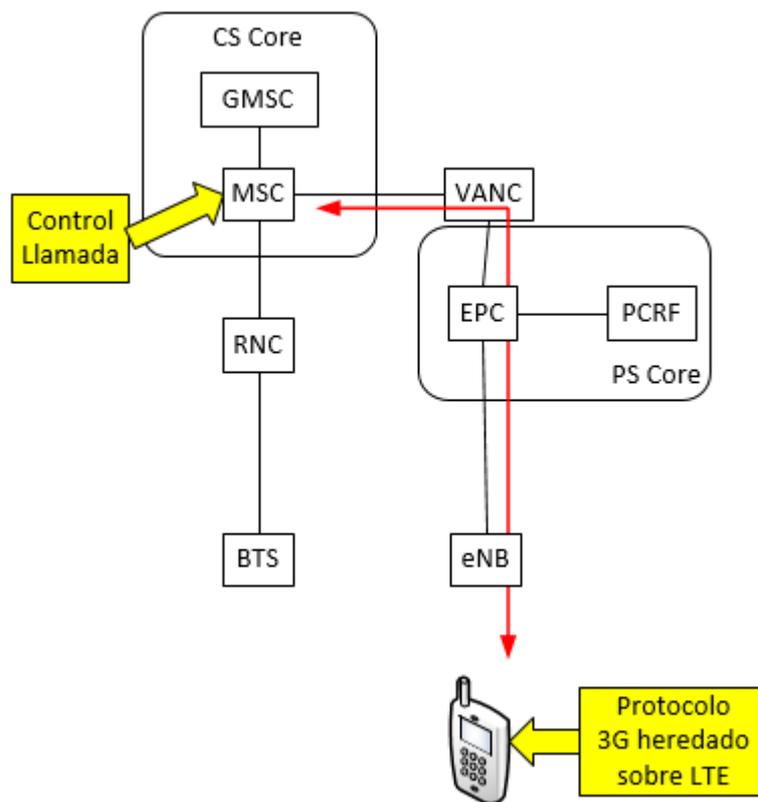


Figura 6. Funcionamiento de la red para una llamada de voz usando la solución de 4G VoLGA

Se requiere de la intervención de un elemento ajeno a las redes de CS y PS llamado VANC.

### 2.8.3. CSFB

De un modo parecido a lo que ocurría cuando realizábamos una llamada de voz en 3G, cuando estamos conectados al 4G y vamos a realizar una llamada de voz, nos desconectaremos completamente de la red 4G, para pasar nuestra conexión al 3G o 2G. El CSFB permite este cambio a la red de conmutación de circuitos antes de iniciar la llamada, teniendo únicamente que realizar una serie de modificaciones en los equipos de core MSC. Cuando la llamada ha terminado, la configuración en el nodo del parámetro de reelección, nos permitirá retornar a la red 4G de manera automática.

### 2.8.4. SRVCC

Por último, esta solución permite el emplear el subsistema IMS para iniciar un tráfico de voz independiente del de datos. Cuando se va a iniciar una llamada, el IMS inicia un procedimiento de SRVCC que se conectará a la red CS para llevar a cabo una llamada, de esta manera nuestro tráfico seguirá siendo 4G a través de PS, siendo convertida en CS. En el caso de CSFB, no se podía establecer un tráfico de voz y datos de manera conjunta, sin embargo, con SRVCC sí que sería posible.

Resumiendo, hemos visto que en la tecnología 2G, los nodos a los que nos conectábamos, sólo eran para llevar a cabo la conexión con los mismos, dejando a cargo del núcleo toda la “inteligencia” necesaria para llevar a cabo la comunicación.

Sin embargo, con la aparición del 3G, los nodos ganaron funcionalidades, las cuales se delegaron en los mismos, y su núcleo se simplificó.

Con la llegada del 4G, la mayoría de la inteligencia estaba en el propio nodo, dejando en su núcleo muy pocos elementos (pero no por ello poco importantes).

El problema es que como estas tecnologías han continuado trabajando todas ellas a la vez, en vez de simplificarse el diseño sobre las redes, se ha tenido que tener en cuenta cómo se lleva a cabo su interacción entre las mismas. De esta manera llegamos al siguiente hito fundamental en las comunicaciones móviles.

## 2.9. Equipos en la red de acceso

Vamos a ver en detalle que es una estación base (nodo), con sus diferentes equipos.

### 2.9.1. Antenas

Se utilizan antenas planas, para transmitir y recibir en el espacio libre las ondas electromagnéticas que formarán nuestra comunicación. Esta antena podría ser omnidireccional y radiar en 360°, o en cambio ser direccional y tener un diagrama de radiación concreto.



*Figura 7. Modelo de una antena de la compañía Alcatel-Lucent*

En el caso más típico, se instalarán entre 1 y 3 sectores direccionales de 120°, con un diagrama de radiación parecido al siguiente:

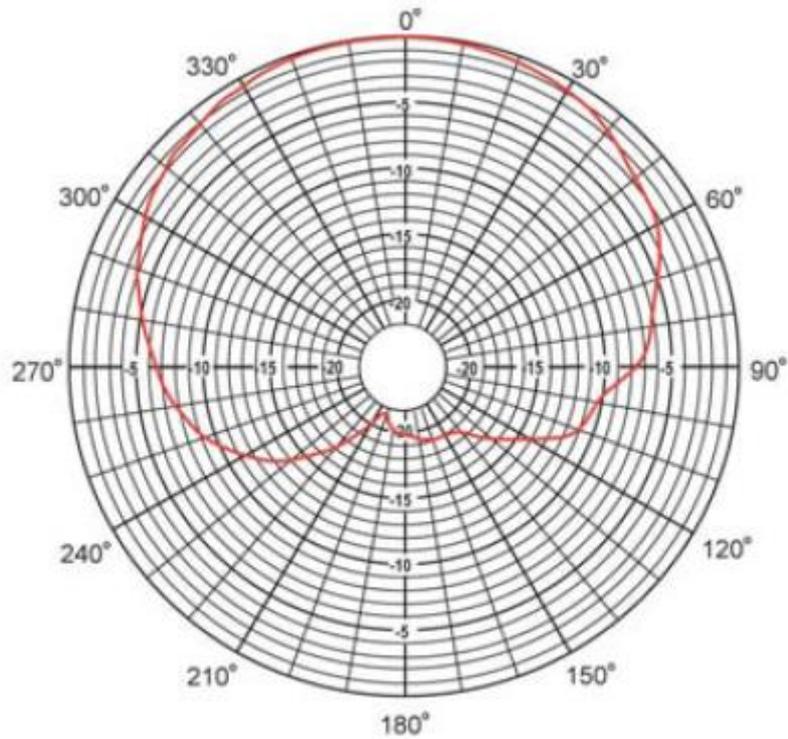


Figura 8. Diagrama de radiación Horizontal de una antena de la compañía HP

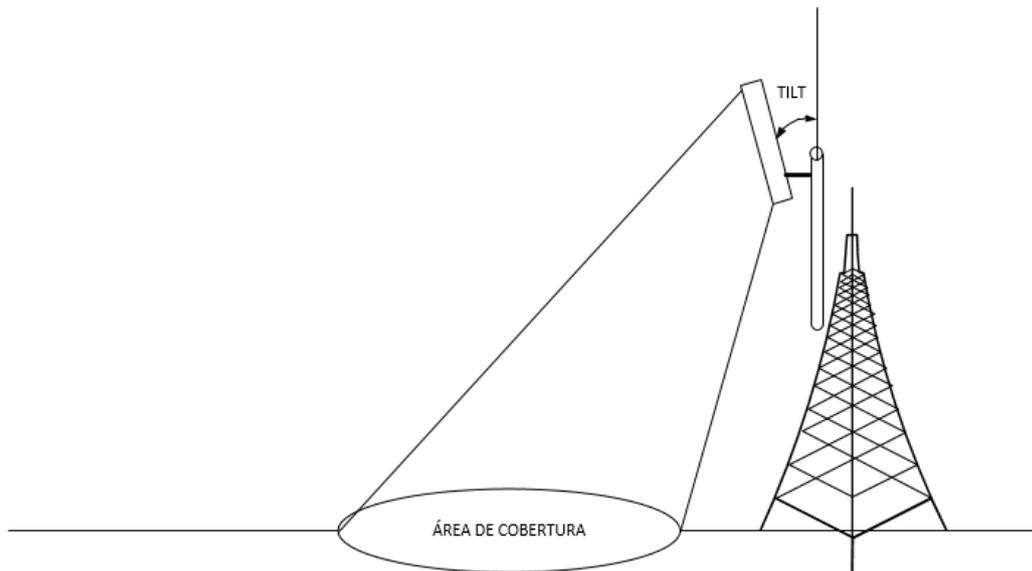
El diagrama de radiación horizontal y vertical dependerá del fabricante de la antena.

Tomando como referencia el polo norte de la tierra, la orientación principal a la que se instale cada uno de los sectores, se le conocerá como azimut (también llamado acimut).



Figura 9. Orientación de los sectores de una antena respecto de su norte

En este tipo de antenas, se intenta que el diagrama de radiación vertical sea más direccional que el horizontal, ya que el tilt de una antena es fundamental para la cobertura de nuestra estación base. Llamaremos tilt a la orientación de la antena respecto a la vertical de la estructura donde esté instalada.



*Figura 10. Representación de como el tilt de una antena afecta al área de cobertura de un nodo*

Un tilt incorrecto, puede provocar que nuestra área de cobertura interfiera con la de otro nodo, dando lugar al fenómeno denominado como sobre alcance.

### 2.9.2. Módulos RF

Los módulos de RF, son comúnmente llamados RRU y se encargan de procesar la señal banda base procedente del módulo de sistema para su transmisión por la antena a alta frecuencia. De igual manera, procesará las señales procedentes de los terminales, para poder trabajar con ellas en banda base [6].



*Figura 11. Módulo RF de la compañía Huawei*

### 2.9.3. Módulos de sistema

Estos módulos también son llamados BBU, y se encarga de llevar a cabo la mayor parte del trabajo en la transmisión y recepción de una señal. Se encarga de procesar la señal que se transmite desde la estación base hasta los equipos de la red de transmisión a través del módulo de transporte, así como mantener sincronizado el reloj del sistema, así como de la gestión y el control [7].



*Figura 12. Módulo de sistema de la compañía Huawei*

### 2.9.4. Módulos de transporte

Se les conoce con el nombre de SIU (Subscriber Indoor Unit), estos son los módulos que se encargan de conectar los módulos de sistema con los equipos de la red de transmisión, proveyéndonos además con interfaces alternativos diferentes para conectarnos con la red. Es importante remarcar que los módulos pueden tener diferentes funcionalidades dependiendo del fabricante, y de esta manera algunos vendedores como Huawei, integran la funcionalidad del módulo de transporte, en el módulo de sistema.

### 2.9.5. Módulo de alimentación

El módulo de alimentación además de dar energía a todos los demás elementos de nuestra estación base, tendrá instalado el sistema de ventilación que mantendrá refrigerado nuestro bastidor. Del control del mismo sin embargo, se encargará el módulo de sistema.

Nuestros módulos de sistema, de transmisión y de alimentación, estarán comprendidos dentro de un mismo bastidor, y dependiendo del emplazamiento, tendremos que decidir si lo instalaremos indoor (en una caseta) o por el contrario outdoor (el bastidor estará a la intemperie).

Algo que se debe tener en cuenta a la hora de hacer la instalación, es que lo más conveniente, será poner la unidad de RF, lo más próxima posible a la antena, ya que ambas están conectadas por una línea de transmisión flexible, y cuanto menor sea su recorrido, menores pérdidas tendremos.

Por lo que el esquema final quedará de la siguiente forma:

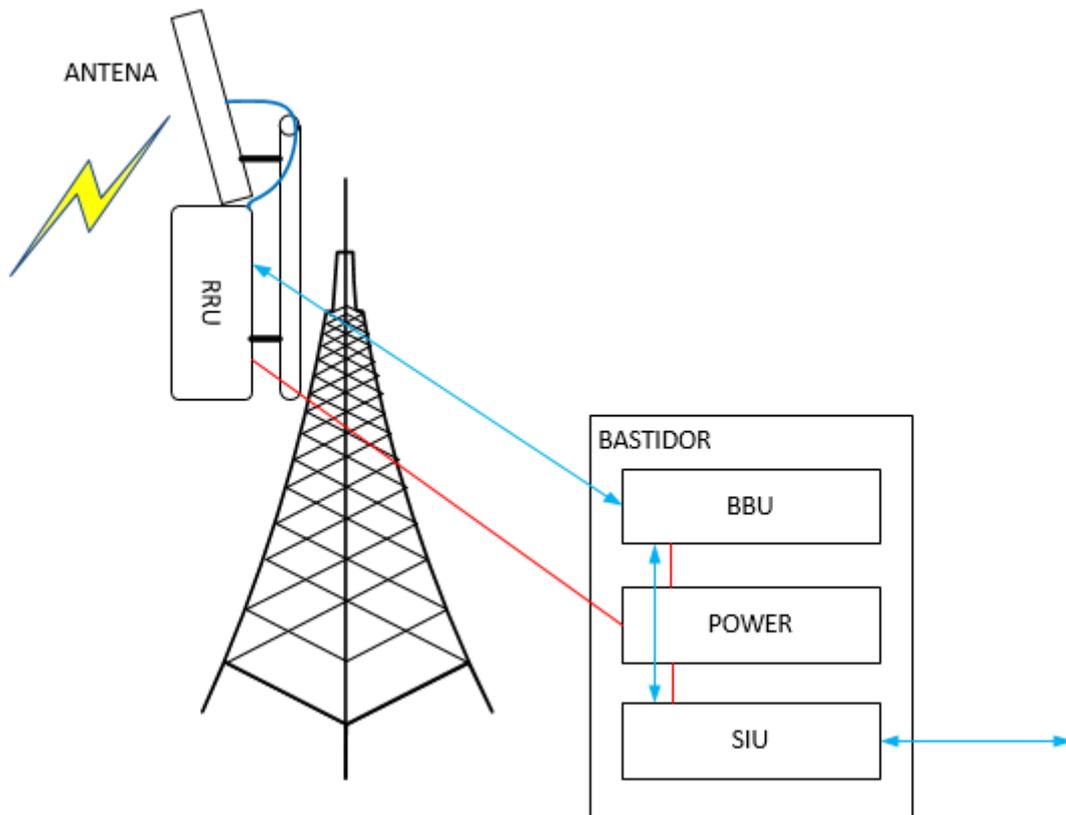


Figura 13. Modelo de un nodo en la red de acceso con sus diferentes equipos

## 2.10. Single RAN

En los anteriores puntos, hemos visto las diferentes tecnologías que estamos integrando actualmente en las redes de comunicaciones móviles, así como la estructura de las mismas.

Algunas de estas redes se interconectan con las otras, compartiendo equipos, y funcionalidades, y otros elementos de las redes en cambio operan de manera totalmente independiente del resto. Esto nos lleva a plantearnos la cuestión de si es necesario instalar una infraestructura para cada una de ellas. En la actualidad la respuesta es que no, gracias a un gran avance en la integración de nodos, el Single RAN. Este permite un gran ahorro a los operadores de red, permitiendo que en una única estación base, podamos instalar diferentes tecnologías mediante una solución software [8].

Su nombre hace referencia a que emplearemos una única red de acceso radio para todas las tecnologías integradas en el nodo. Antes de que los operadores empezaran a instalar esta solución en sus emplazamientos, cada estación base contaba con un bastidor para cada una de las tecnologías, sustituyéndose en la solución Single RAN por un único bastidor para todas ellas. El gasto inicial era grande, pero además del ahorro de espacio, se logró una gran reducción de CAPEX y OPEX [9].

Los elementos de la red de transporte serán los mismos para todas las tecnologías, a excepción de los equipos finales, donde cada transmisión terminará en el suyo propio. Esto se sabrá a priori, ya que cada tecnología contará con unos caminos propios prediseñados en la red. Esto se verá más adelante, cuando veamos el funcionamiento de las transmisiones IP. El core aunque sea común, contará con sus propios equipos dependiendo de la transmisión.

### 3. FTTN

Después de haber visto las diferentes partes de una red de acceso móvil, así como el equipo que se debe instalar en la red de acceso, veremos los equipos implicados en la parte de transmisión, así como las tecnologías implicadas.

Empezaremos explicando lo que es la tecnología FTTN.

Cuando realicemos una integración empleando la solución FTTN, el objetivo de este diseño será el acercar la fibra óptica lo máximo posible a los nodos de comunicaciones móviles.

Si es posible llevar la fibra óptica hasta el nodo directamente, instalaremos un equipo concentrador en este emplazamiento. Si este punto sólo servirá para nuestro diseño, el equipo instalado será un CSG, y este equipo se encargará de conectarse con los POC y POP necesarios para llegar hasta los equipos finales en la capa más superficial del núcleo.

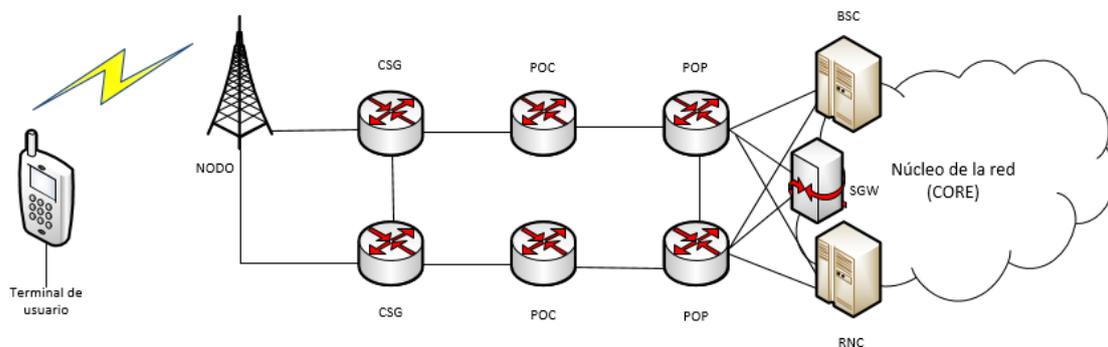


Figura 14. Conexión directa del nodo con equipo concentrador de fibra óptica

Sin embargo, puede que nuestro punto sirva para concentrar el tráfico de otras estaciones base, por lo que pudiera ser que se instalara un equipo de mayor capacidad, como un POC o POP.

En caso de que no sea posible llevar la fibra óptica hasta el mismo emplazamiento, conectaremos con un punto que disponga de esta. Para llegar hasta este punto, emplearemos un vano de alta capacidad (PMW en nuestro caso). Estos casos especiales son llamados diseños PMW.

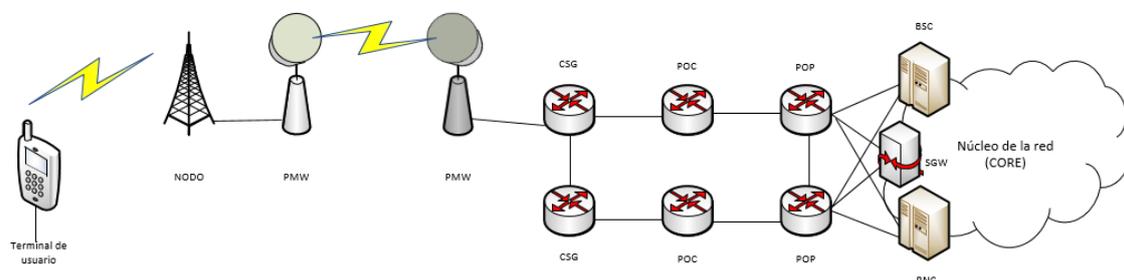


Figura 15. Conexión del nodo con equipo de radioenlace hasta equipo concentrador de fibra óptica

Hay que destacar que llamaremos “punto de fibra óptica”, a un emplazamiento de la red que disponga de equipos concentradores (CSG, POC o POP), aunque la comunicación entre ellos puedan ser distintas de la fibra óptica misma. La comunicación entre estos equipos puede ser:

1. Fibra óptica. En este caso, se habrá llevado a cabo un soterramiento de una fibra óptica de alta capacidad entre dos emplazamientos.

2. Cadena de vanos. Entre los dos equipos, tendremos uno o más vanos.
3. Línea alquilada. Si no disponemos de los equipos o tiradas de fibra necesarias para llevar a cabo una comunicación, podremos alquilar la capacidad que necesitemos a otro operador de red.

La comunicación entre los equipos de fibra, se lleva a cabo diseñando túneles llamados LSP (Label Switched Paths). Estos túneles se establecen por el operador de red para crear redes privadas virtuales en una red IP o para enrutar tráfico a través de caminos específicos de la red. En muchos aspectos, estos túneles no son muy diferentes de circuitos virtuales permanentes (PVCs) en redes ATM o FR (Frame Relay), excepto que no dependen de una tecnología particular de capa 2.

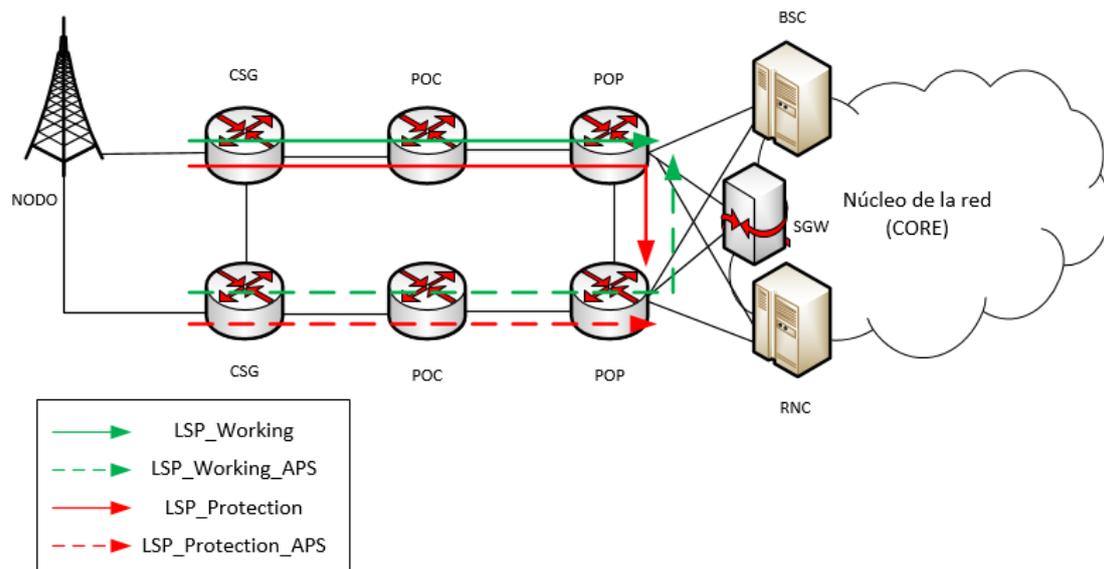


Figura 16. Diagrama de transmisión con túneles LSP

En los túneles, diseñaremos un túnel principal, con otro secundario que servirá de protección. Cada uno de ellos, tendrá que usar equipos distintos, y conexiones distintas, ya que buscaremos evitar puntos de fallo en nuestra comunicación. En ocasiones, podemos tener un único CSG, pero mientras usemos diferentes puertos para sus conexiones, seguiremos teniendo intacta la protección. Crearemos además, otro dos túneles, uno de redundancia frente al principal, con su respectiva protección. Existen varios modos de funcionamiento, estos túneles pueden funcionar como 1:1 o 1+1. En el caso de 1:1, se configura de esta manera para bascular el tráfico entre ambos túneles, y no saturarlos. Si fuera 1+1, el segundo túnel comenzará a funcionar a raíz del fallo del principal.

### 3.1. Equipos en la red de transmisión

Dependiendo de si el diseño es un FTTN o un PMW, tendremos que instalar uno de los equipos listados a continuación.

#### 3.1.1. Equipo concentrador de fibra óptica

El nombre genérico que reciben los equipos concentradores de fibra óptica que sirven para el transporte óptico de paquetes son CSG, POC o POP, dependiendo de la capacidad de los mismos. Sin embargo, este equipo no puede funcionar por sí sólo, y llevan asociados otros dos módulos.

### *CSG, POC, POP*

Estos equipos vieron la luz como solución a que los servicios de datos cada vez eran más demandados, y los operadores necesitaban un ancho de banda cada vez mayor en la red de transporte y demandaban una mayor flexibilidad en la utilización de esta [10].

Como red de conmutación de circuitos, la red de transporte multiservicio basada en SDH tradicional no es aplicable a los servicios de datos, que requieren robustez y flexibilidad. Además de que la red tradicional no orientada a conexión IP no debería ser usada como una red de telecomunicaciones de portadora ya que no se puede asegurar el rendimiento y la calidad de los servicios importantes.

Trabajando con la tecnología de PWE3, la tecnología de MPLS, con la ayuda de la administración y el mantenimiento (OAM), los equipos concentradores ofrecen unos mecanismos de protección, los cuales son capaces de dar servicios de calidad de portadora en una red de transporte de paquetes.

El equipo concentrador está directamente instalado en el emplazamiento de la estación base, y se encarga de convertir los servicios salientes de la estación base y enviarlos al nodo de convergencia o al equipo final de transporte correspondiente.

Las tarjetas que instalaremos en estos equipos serán ópticas o eléctricas. Y los puertos de enlace, establecerán la conexión que se podrá llevar a cabo. Dispondremos de los tipos: PDH (a nivel E1), SDH (a nivel STM-1), FE, GE o las de máxima capacidad en el core de 10GE.



*Figura 17. Equipos concentradores de fibra óptica de la compañía Huawei*

### *Repartidor óptico o eléctrico*

Estos equipos son multiplexores/demultiplexores para conectar cada uno de los puertos de las tarjetas con su respectiva terminación de cables, ya sea una fibra óptica de calle o alimentación eléctrica.



Figura 18. Repartidores ópticos y eléctricos de la compañía Nokia

### Disyuntores

Dentro del bastidor dispondremos de un conjunto de disyuntores. Estos son interruptores automáticos que se encargan de interrumpir o abrir un circuito eléctrico cuando la intensidad de corriente eléctrica exceda un valor umbral, para no dañar el equipo. Estos disyuntores se conectarán a cada uno de nuestros nuevos módulos.



Figura 19. Conjunto de disyuntores instalados en el emplazamiento

El esquema final quedará de la siguiente manera:

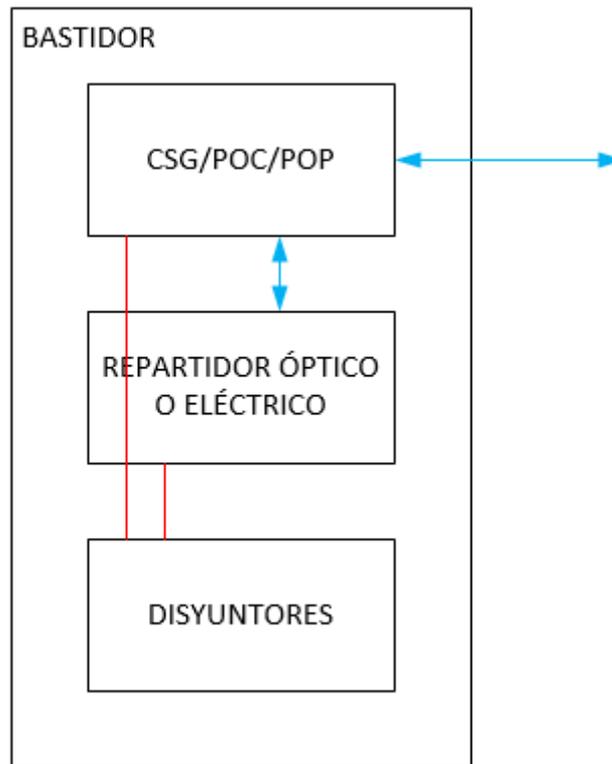


Figura 20. Modelo de un equipo concentrador de fibra óptica con sus diferentes equipos

### 3.1.2. PMW

Este equipo también es conocido con el nombre de MPR, dependiendo del fabricante, podremos verlo nombrado con uno de estos.

Este es un equipo de radio digital por microondas, que soporta transmisión PDH, SDH y Ethernet (o packet data) para la migración a IP. Este equipo nos ofrece una plataforma IP genérica para múltiples aplicaciones de red, ya que tendremos diferentes anchos de banda, dependiendo de los servicios. Así, soportaremos aplicaciones de baja, media y alta capacidad usando los ratios europeos, sus frecuencias, planes de canales e interfaces de tributarios.

Las velocidades de transmisión en PDH será a nivel de E1 (2 Mbps), la de SDH será a nivel de STM-1 (155 Mbps) y el Ethernet puede ofrecernos ratios de transmisión de 10, 100 o 1000 Mbps. Siendo la frecuencia de funcionamiento de entre 6 y 38 GHz.

Las funcionalidades que nos ofrecen estos equipos son:

- Capa de agregación multiservicio. Capacidad de usar Ethernet como capa de transmisión común para transportar cualquier tipo de tráfico, independientemente del tipo de interface.
- Manejo del tráfico. Mantenimiento de la calidad, poniendo en colas el tráfico de acuerdo al tipo de servicio asignado, independientemente del tipo de interface.
- Packet Node. Sin límite de agregación de servicios, ya que el tráfico se agrega por paquetes, en términos de: capacidad, requerimientos de tipo de servicio y tipo de interface.

- Modulación adaptativa conducida por el servicio. Aprovechamiento completo del ancho de banda aéreo, cambiando la modulación de acuerdo con la disponibilidad en la propagación y capacidad de transporte, discriminando el tráfico por los diferentes servicios, sólo posible en un entorno basado en paquetes.

Antes de ver las diferentes partes de las que se compone un equipo de radioenlaces, cabe destacar que la empresa que en España más ha destacado en la instalación de estos equipos, ha sido Alcatel-Lucent (compañía que ahora pertenece al grupo Nokia), donde se puede encontrar la documentación de sus equipos.

#### *Antenas*

El parámetro determinante a la hora de seleccionar una antena, es el diámetro físico de la misma, ya que de esto dependerá directamente la ganancia o la frecuencia a la que podrá radiar.



*Figura 21. Antenas de un radioenlace de la compañía Alcatel-Lucent*

#### *ODU*

Este equipo también es llamado MPT, y cumple una función parecida a la del módulo de RF en una estación base, se encarga de convertir en una señal electromagnética la información de la transmisión.

Este equipo se puede conectar a la antena de las siguientes maneras:

- ODU directamente montada. La unidad de radio está unida a la antena directamente.

- ODU remota. La unidad de radio se instala de manera separada de la antena, usando una guía de onda flexible para unirlos.
- Acopladores. Se utiliza un acoplador para conectar dos ODU a una misma antena, para protección de la frecuencia o diversidad de transmisión.

Tenemos dos tipos de equipos MPT: MPT-HC (High Capacity) y MPT-MC (Medium Capacity). La diferencia entre ellos, es que el MPT-HC es alimentado desde el equipo IDU a través de un cable dedicado, y el MPT-MC es alimentado a través del mismo cable de datos (PFoE). Esto es debido a que este equipo no se puede conectar de manera óptica.



Figura 22. Modelo de un equipo ODU de la compañía Alcatel-Lucent

#### **Guía de onda**

Si utilizamos una configuración con splitter no integrado o bien enlaces con antenas no integradas, será necesario añadir una guía de ondas. Serán modelos flexibles, y las pérdidas dependerán de cual elijamos.

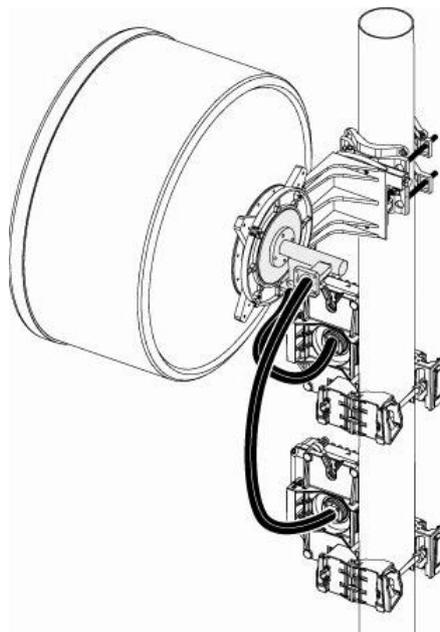


Figura 23. Guía de onda flexible que conecta una antena con un equipo ODU no integrado

### Acoplador

En algunos diseños, puede ser necesario instalar un acoplador, que servirá para conectar dos ODU a una antena común, y de esta manera asegurar la protección por frecuencia 1+1 HSB o también para dar una diversidad de frecuencia.



Figura 24. Equipo acoplador de la compañía Alcatel-Lucent

### IDU

Este equipo también es llamado MSS, y nos ofrece cross-connection, agregación de puertos, conmutación y mantenimiento del equipo. En la estructura del MSS se montan las tarjetas de acceso, de radio y de control.

Estos equipos son diferentes dependiendo del tamaño, y por lo tanto, el número de radioenlaces que soportarán. La señal banda base que se envía desde este equipo hasta el ODU, puede ser enviada a través de una conexión eléctrica u óptica.

Vamos a ver el ejemplo de un MSS-8 de Alcatel-Lucent:

Slot # 1: <b>Modulo principal del núcleo</b>	Slot # 2: <b>Modulo redundante del núcleo</b>	Slot # 9: <b>Modulo de ventilación</b>
Slot # 3: <b>Modulo de transporte</b>	Slot # 4: <b>Modulo de transporte</b>	
Slot # 5: <b>Modulo de transporte</b>	Slot # 6: <b>Modulo de transporte</b>	
Slot # 7: <b>Modulo de transporte</b>	Slot # 8: <b>Modulo de transporte o Modulo auxiliar de periféricos</b>	

Figura 25. Ejemplo de la instalación de los diferentes módulos en un equipo IDU



*Figura 26. Equipo IDU de la compañía Alcatel-Lucent*

Los módulos de núcleo, tienen 6 interfaces de usuario Ethernet (4 eléctricos + 2 eléctrico/ópticos). Se encarga de las funciones de mantenimiento y control. Estas tarjetas contienen la configuración del nodo y los datos de las licencias, además incluyen la matriz de cross-conexiones, que lleva a cabo la conexión entre los módulos de transporte, y entre los puertos de usuario ethernet.

Hay que tener en cuenta que el nombre del módulo redundante del núcleo, puede llevar a error, ya que tiene un papel diferente del módulo principal.

El módulo redundante es una unidad opcional que nos brinda protección al tráfico agregado y protección en el control.

Los módulos de transporte pueden ser:

- Modulo de acceso local PDH 32E1. Nos dá 32 inferfaces externas de tributarios E1, maneja el encapsulado/reconstrucción de paquetes PDH Ethernet y envia/recibe paquetes Ethernet para/desde los módulos de núcleo.
- Modulo de acceso local SDH STM-1. Nos dá interfaces externas para 2 señales STM-1 electricas u ópticas, maneja el encapsulado/reconstrucción de paquetes SDH Ethernet y envia/recibe paquetes Ethernet para/desde los módulos de núcleo.
- Modulo de acceso MPT (Microwave Packet Transport). Este módulo se utiliza de interface con los equipos MPT-HC y MPT-MC (ODU). Se conecta por un cable con estos equipos, llevando el tráfico Ethernet y la energía de alimentación. Enviamos/recibimos paquetes Ethernet para/desde los módulos de núcleo.
- Modulo periférico EAS (Ethernet Access Switch). En caso de necesitar puertos ethernet extras, este módulo dispone de 8 de velocidades 10/100/1000.

Por lo que el esquema final quedará de la siguiente forma:

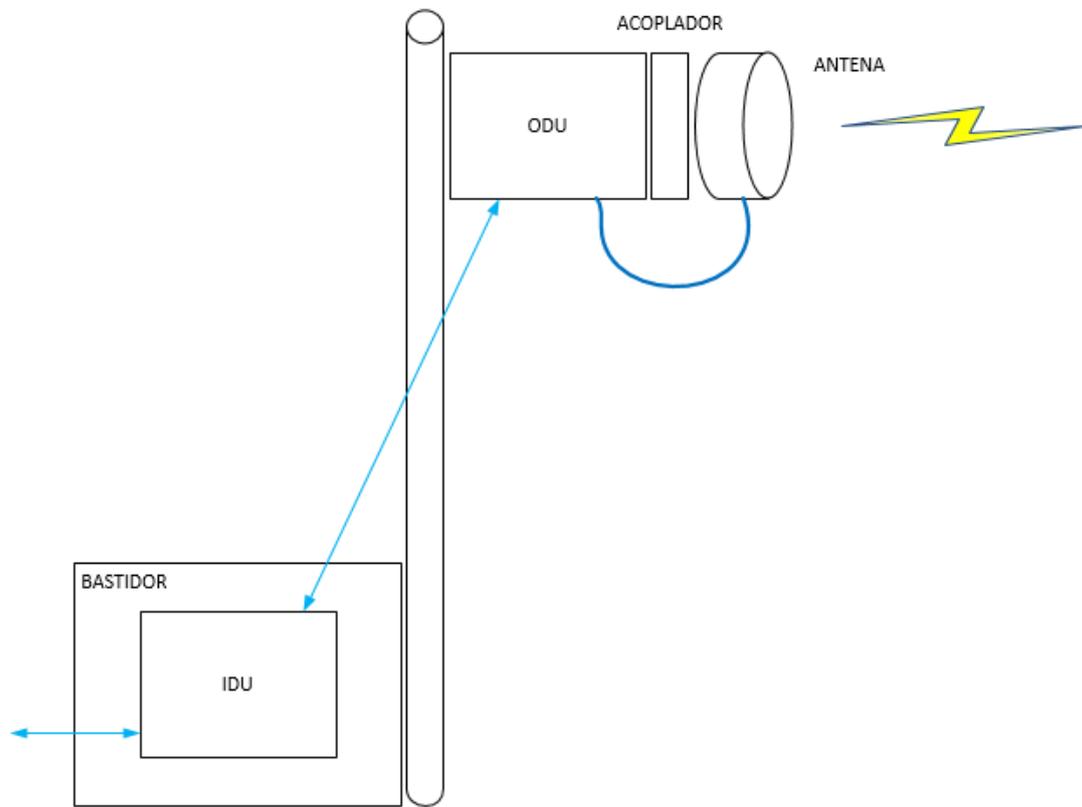


Figura 27. Modelo de un radioenlace de alta capacidad con sus diferentes equipos

## 4. Full IP

Cuando se establece una conexión de conmutación de circuitos, se establece un camino fijo en la red de comunicaciones. Sin embargo, cuando la que se establece es de conmutación de paquetes, la comunicación fluye por la red de transporte alternando su ruta.

Esto se traduce en que cuando una comunicación se establece en modo circuito, el usuario tiene una capacidad fija desde el inicio hasta el final de la comunicación. Si nuestra fuente de tráfico fuera continua, esto resultaría en un aprovechamiento del canal completa, pero lo normal es que la fuente de datos sea discontinua, lo que provoca un desaprovechamiento de recursos. Cuando la comunicación es por paquetes los recursos asignados al usuario se realizan de manera flexible, por lo que se puede adaptar a las necesidades del momento.

El acceso a Internet es el servicio de tráfico a ráfagas más empleado por los usuarios de terminales móviles, por lo que el sustituir la conmutación de circuitos por paquetes ahorra mucha capacidad de manera global en la red.

Fue muy importante el mecanismo de gestión de recursos radio llamado Packet Scheduling para que el empleo de PS prevaleciera sobre el de CS, ya que se dedica a la asignación dinámica de usuarios en la red de acceso radio, lo que maximiza tu utilización frente a la asignación fija de la misma.

### 4.1. IP

La conmutación de paquetes, nos dio pie a la creación de Internet Protocol (protocolo de Internet o IP), este es un protocolo de comunicación de datos digitales que se clasifica en la capa de red según el modelo internacional OSI.



Figura 28. Pila de capas o niveles del modelo OSI (Open System Interconnection)

De esta manera, utilizando IP podemos llevar a cabo una comunicación de datos no orientado a conexión, y así transmitir los paquetes de una manera conmutada a través de distintas redes físicas enlazadas según la normativa OSI.

Por lo que una conexión Full IP, será aquella que se realice de manera IP, desde el principio hasta el final de la misma. Poseyendo cada una de las interfaces, una dirección IP única de esa misma red.

#### 4.1.1. IPv6

El aumento de los terminales que requieren una dirección IP propia, ha ido incrementándose cada vez más, ya que a día de hoy no sólo lo requieren los dispositivos electrónicos personales, sino que automóviles, máquinas expendedoras, electrodomésticos en el hogar o distintas máquinas llevan a cabo un intercambio de información a través de Internet.

La actual versión de IP (IPv4), es incapaz de soportar tal demanda, pues no cuenta con la estructura física de datos para proveer todas las direcciones requeridas, ya que, prácticamente, su rango se ha agotado. Esta es la razón por la que se ha desarrollado una nueva versión de IP (IPv6), la cual tiene un espacio expandido de 128 bits para direcciones (IPv4 sólo tiene 32 bits), ofreciendo así una cantidad virtualmente inagotable de direcciones IP.

IPv6 cuenta con otras ventajas como una mayor escalabilidad, mejor seguridad e integridad de los datos, así como una mejoría en la calidad de servicio y un enrutamiento de red más eficiente. Como se ha visto, además, está pensado para que no sólo se comuniquen las personas, sino que los dispositivos inteligentes puedan hacerlo.

## 4.2. Ethernet

La palabra Ethernet, comúnmente hace referencia a la tecnología dominante en la conexión y comunicación de los equipos dentro de una red de área local (Local Area Networks o LANs). Estas redes LAN operan en un área muy pequeña (un edificio o un pequeño clúster de edificios en un área de pocos kilómetros) [11].

Una conexión Ethernet, engloba los siguientes conceptos:

- El interfaz físico que conecta los dispositivos es un medio coaxial o de fibra.
- Las tramas se usan como contenedores para la transmisión y recepción de datos entre los interfaces físicos de los dispositivos en la red LAN.
- El protocolo subyacente empleado para comunicarse entre los dispositivos. Esto incluye el construir la tramas y llevar a cabo la recepción/transmisión, así como el procesado de las tramas buscando errores; sin olvidarnos de la señalización asociada para que pueda llevarse a cabo la comunicación.

Estas capacidades de procesado y conectividad físicas se nos ofrecen gracias a una combinación de Hardware y Software.

La tecnología Ethernet se definió en el estándar IEEE 802.3, y su capacidad de comunicación está configurada sobre 3 capas de arquitectura, las cuales se corresponden con las dos primeras capas en el modelo de referencia OSI [12].

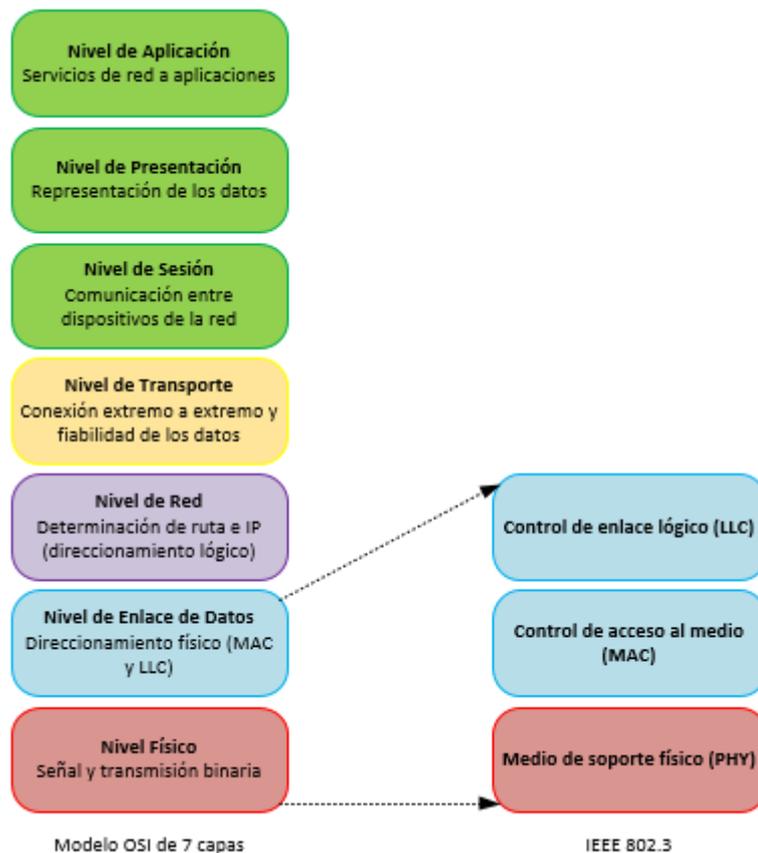


Figura 29. Ethernet tal y como se define en el modelo de capas por el IEEE (en contraposición al modelo OSI)

#### 4.2.1. Medio de soporte físico

Esta es la capa más baja en ambos modelos, y se encarga de la transmisión de bits crudos (1s y 0s) sobre el medio físico. Cuando hablamos el medio físico, hacemos referencia al medio, ya que la transmisión se puede hacer de manera no física, como ocurre en el caso de Wi-Fi.

#### 4.2.2. Control de acceso al medio

Esta subcapa define ciertas capacidades con independencia del medio físico tales como la encapsulación de datos o la administración de acceso al medio. La primera se encarga del ensamblado y de la fragmentación de los datos (en caso de ser necesario), además de detectar cualquier error en el receptor de la trama Ethernet. La segunda se encarga de evitar la colisión y manejo de las tramas cuando el medio compartido está en uso.

#### 4.2.3. Control de enlace lógico

Esta subcapa nos hace de interface entre la subcapa Ethernet MAC y las capas superiores. Se encarga principalmente con la multiplexación y demultiplexación de las tramas transportadas sobre la subcapa MAC, además de darnos un control del flujo de datos, confirmación de la recepción y recuperación si fuera necesario.

### 4.3. Creaciones de redes más allá de las LAN: Redes de área metropolitana (MAN) y redes de área ancha (WAN)

Siendo Ethernet la tecnología más empleada en las conexiones de área local (LAN), era cuestión de tiempo que se buscara dar una misma solución entre emplazamientos distantes. Los usuarios (y sobre todo las empresas) estaban interesados por llevar su red más allá de la LAN, ya que por las nuevas aplicaciones en red, la necesidad de conectarnos en una red de área metropolitana

(MAN) se convirtió en una necesidad del negocio. Por ello, la interconexión MAN pronto se volvió una parte vital de la infraestructura de comunicaciones (para la interconexión de LANs en diferentes localizaciones, para el acceso a internet, las intranets y multitud de nuevas aplicaciones) [11].

Cuando se quiere conectar más allá de la LAN normalmente tenemos que confiar en un proveedor de servicios la conexión; este proveedor puede ser un operador virtual, un operador de cable multiservicios (MSO), o alguna otra entidad que normalmente tiene y opera la infraestructura subyacente y ofrece servicios sobre ella. De esta manera, la red LAN se conecta físicamente a la red del proveedor de servicios. Esta conexión física se puede llamar acceso, la última/primera milla (last/first mile dependiendo de cómo se mire la red) o bucle de acceso local.

Específicamente, un equipo de la red LAN como un router o switch se conecta al punto de presencia (POP) más cercano del proveedor del servicio. Este equipo depende de la solución empleada por el proveedor para ofrecer la conectividad.

Esta porción del acceso de la red del proveedor del servicio es parte de la red metropolitana.

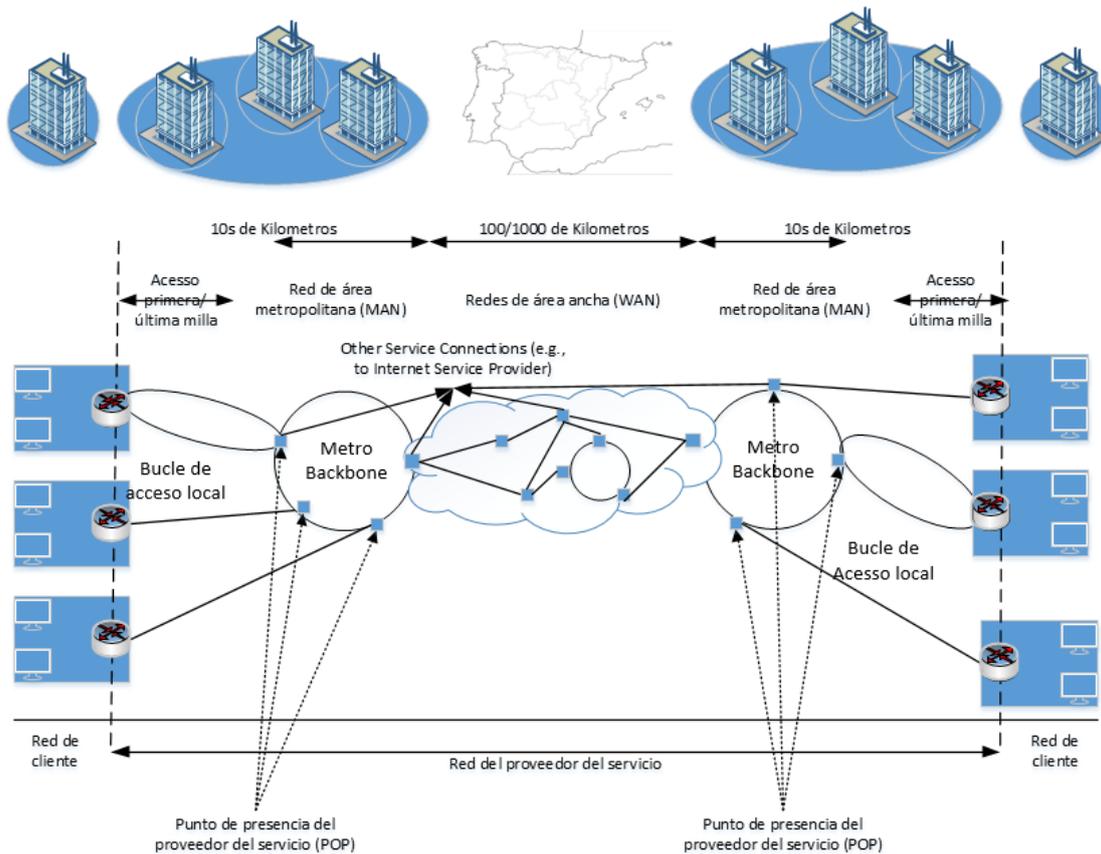


Figura 30. La Red más allá del LAN, segmentada en Acceso, MAN y WAN

La red más allá de la LAN es la red del proveedor del servicio y está segmentada en el acceso, MAN y WAN. La red de área metropolitana (MAN), como el término sugiere, se refiere a una red que comprende habitualmente una ciudad y sus alrededores y cubre un área de cientos de kilómetros de diámetro. Como una LAN, la MAN interconecta muchas entidades a alta velocidad, pero en una localización geográfica más amplia. En oposición a la LAN, que es usualmente privada, el proveedor del servicio tiene en propiedad y opera la infraestructura de la red MAN.

La capacidad de la red MAN se alquila como un servicio (o servicios) por el proveedor, ya que debe interconectar varias LANs en el área metropolitana. Cada una de estas LAN a su vez, opera como una entidad independiente de la MAN.

Una MAN generalmente abarca las redes de acceso de telecomunicaciones y sus metro backbone asociados. Hay diversidad en las MAN en términos de los diferentes tipos de aplicaciones del cliente, interfaces, y ancho de banda necesario.

Cuando hablamos de una red de área ancha (WAN), nos referimos a una red que cubre un área geográfica más grande que la cubierta por una MAN. No hay una definición estándar, pero una WAN generalmente engloba la red que se extiende más allá de la distancia típica de la MAN. En la nomenclatura tradicional de las telecomunicaciones, una WAN hace referencia las redes que incluyen el núcleo de red, las conexiones de largo recorrido, y las redes de ultra larga distancia. De esta manera, una WAN conecta múltiples LANs/MANs y es normalmente propiedad y operada por múltiples proveedores de servicios (que pueden a su vez, operar una o más MAN, dependiendo de la regulación). Por su alta capacidad, estas redes usualmente utilizan fibra óptica como el medio físico de transmisión y por ello, es habitual que tengan un ancho de banda mayor que las MAN (ya que en esencia, agrega y transporta el tráfico de varios MANs simultáneamente).

Aparte del mayor número de clientes y exponencialmente, conexiones, la operatividad es más compleja y diversa en las redes MAN y WAN, haciendo el mantenimiento de los servicios un reto aún mayor.

#### 4.4. Carrier Ethernet

Para asentar el potencial de Ethernet más allá de las redes LAN, tuvo que mejorarse con características adicionales de “tipo portadora” (carrier-class). El identificar y usar esas características en detalle, fue esencial para el papel que jugaría Ethernet. Veremos los estándares que se desarrollaron para transformar LAN Ethernet en un servicio llamado Carrier Ethernet [13].

Carrier Ethernet es ofrecido sobre las redes de los proveedores de servicios a través de MAN y WAN, lo cual habilita la siguiente generación de aplicaciones de paquetería. La mayoría de los esfuerzos de estandarización, especialmente en el nivel de servicio, se han llevado a cabo por el Metro Ethernet Forum (MEF).

El MEF ha definido Carrier Ethernet como “el servicio Carrier-class estandarizado definido por 5 atributos que distinguen Carrier Ethernet del Ethernet LAN”. Estos cinco atributos son:

1. Servicios estandarizados
2. Escalabilidad
3. Fiabilidad
4. Calidad de servicio (QoS)
5. Mantenimiento del servicio

Carrier Ethernet esencialmente mejora el Ethernet tradicional, optimizado para despliegues LAN, con capacidades Carrier-Class, lo que lo hace óptimo para despliegues en las redes de acceso y MAN del proveedor del servicio y más allá, en las WAN. Y a la inversa, para un usuario final, Carrier Ethernet es un servicio que no sólo emplea un standard Ethernet (también soporta servicios no Ethernet) sino que ofrece la robustez, comportamiento determinista, mantenimiento y flexibilidad esperado de los servicios de tipo portadora.

El nexo de unión entre Carrier Ethernet y LAN Ethernet es el hecho de que los datos son transportados en tramas Ethernet. Lo que significa que una trama Ethernet proveniente de un dispositivo en la LAN, ahora puede continuar su camino a través de uno o más redes de proveedores de servicios, sin sufrir ninguna alteración, y terminar en un dispositivo en una LAN remota. Una manera de ver esta transformación es que se crea una conexión Ethernet, a través de LAN, MAN e incluso WAN, entregado como un servicio al cliente.

Las tramas Ethernet pueden ser transportadas tal cual, sobre un medio físico, o encapsuladas y entregadas sobre una gran variedad de redes sobrepuestas construidas empleando diferentes tecnologías. Cada una de esas diferentes soluciones tecnológicas, entregan servicios Carrier Ethernet. Es crítico el entender que los atributos de Carrier Ethernet a menudo se manifiestan solo parcialmente en las soluciones comerciales actuales porque están en las capas de red/transporte/física en oposición a la capa de servicio.

#### 4.5. MPLS

Hay múltiples soluciones que pueden utilizarse para ofrecer Carrier Ethernet sobre las redes de los proveedores, cada una de ellas con un origen diferente y enfocada a una tecnología. En una misma red, podría desplegarse más de una solución por consideraciones prácticas [11].

La solución que nosotros emplearemos en nuestros despliegues, será la de MPLS, desarrollada en los años 90. Es una tecnología de intercambio de paquetes que tiene características orientadas a conexión y también sin conexión, y está situada entre la segunda y la tercera capas del modelo OSI (esta es la razón, por la que a veces se le llama "Capa 2.5"). Aunque originalmente fue diseñada para transportar tráfico IP, MPLS se ha convertido en una de las tecnologías clave para operar los servicios Carrier Ethernet.

En una red no orientada a conexión, cada router (o switch) decide independientemente como reenviar cada paquete, a fin de que los paquetes se transmitan con éxito a través de la red. Para ello los routers deben tomar decisiones de reenvío consistentes, para lo que se ejecuta un algoritmo de reenvío que utiliza dos piezas fundamentales: la cabecera del paquete y una tabla de reenvíos almacenada en él. El algoritmo empleado para reenviar paquetes en redes IP, por ejemplo, está documentado en el RFC 1812 y los diferentes protocolos de enrutamiento que deben ser usados para rellenar las tablas de enrutamiento están documentados en otros IETF RFCs.

En una red orientada a conexión, sin embargo, los paquetes son reenviados a través de conexiones predefinidas desde el origen hasta el destino. El reenvío está de nuevo basado en hacer correr un algoritmo usando la cabecera del paquete y una base de datos de reenvío como input. En este caso, la información contenida en la cabecera el paquete es simplemente un identificador de conexión (o label), la cual está generalmente asignada de manera local por el router y cambiada al identificador asignado por el siguiente router de salto (por ejemplo, el siguiente router en el camino hasta el destino) antes de ser reenviado a ese router. La base de datos de reenvío consiste simplemente en una lista de etiquetas (cada una asociada a un interface de salida y router de siguiente salto), siendo las etiquetas asignadas localmente. Las conexiones en MPLS se le llama Label Switched Paths (o LSPs) y deben ser establecidas de manera manual o empleando un protocolo de señalización.

Cabe destacar, que el equipo concentrador de fibra óptica que instalaremos, ya lleva a cabo esta tarea de enrutamiento, independientemente de su capacidad, por lo que serán los únicos

equipos encargados de conducir el tráfico a sus distintos destinos. Cuando hablemos del diseño de los equipos, veremos el modelo específico de un vendor que será el que se instale.

MPLS fue diseñado para transportar paquetes IP (aunque la palabra “multiprotocolo” en su nombre hace referencia a su habilidad para trabajar con otros protocolos de capa de red), por lo que emplea todo lo posible de la infraestructura IP existente en su funcionamiento. Así, MPLS usa direccionamiento IP y protocolos de enrutamiento IP, y encapsula su tráfico de señalización en IP. Es por esto, que el MPLS es a veces conocido como IP/MPLS. El reenvío de paquetes trabaja en la capa 2; sin embargo, MPLS es a veces llamado como “Capa 2.5” porque tiene algunas características de la capa 3, y porque la cabecera de MPLS (conocida como MPLS label stack o pila de etiquetas) generalmente se sitúa entre la cabecera de la capa 2 y la cabecera de IP (capa 3).

#### 4.5.1. VPLS

Los servicios de transporte Ethernet a través de una red WAN en una red troncal MPLS se pueden ofrecer de una manera rápida y fiable a través de VPLS. VPLS emplea una pila de protocolos MPLS para crear redes privadas virtuales sobre estructuras basadas en Ethernet. Lo cual permite emular la funcionalidad de una red de área local, independientemente de su localización geográfica.

Al tratarse de VPNs en una red IP/MPLS, conseguimos más una conectividad punto a multipunto que punto a punto.

Estas redes privadas están compuestas de los siguientes elementos:

##### *PE*

Estos son los equipos frontera en la red MPLS, y se puede decir que en ellos empieza y termina el servicio VPLS.

Estos routers tienen que soportar las funcionalidades clásicas de Ethernet, como aprendizaje MAC, replicación y envío de tramas. También debe conocer las direcciones MAC del tráfico que llega a sus puertos.

##### *CE*

Este es un router o switch que está en el emplazamiento del cliente, y está directamente conectado al equipo PE a través de una conexión Ethernet.

##### *Pseudowire*

Es un circuito virtual formado por un par de LSPs unidireccionales, cada uno en su propia dirección. Se puede ver como si cada uno de estos LSPs, sólo tuvieran un salto. Esta es una tecnología normalizada por el IETF, y a veces es llamada como “túneles Martini” (en honor de su inventor, Luca Martini).

##### *VFI*

Se encarga de las decisiones de reenvío dentro de cada VPLS. La conexión entre los equipos PE relacionados en una misma instancia VPLS, se realiza mediante los pseudowires.

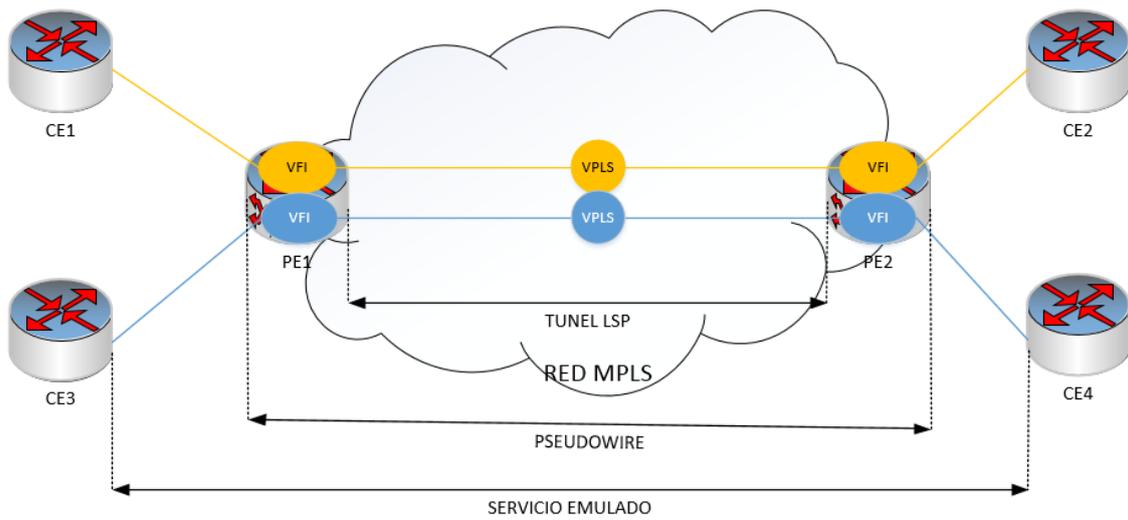


Figura 31. Esquema de una conexión VPLS

Un router PE puede estar asociada a más de una instancia de VPLS, para más de un cliente, por lo que se crea una base de datos para cada instancia.

Cabe destacar, que estos equipos PE y CE serán nuestros equipos concentradores de fibra óptica, CSG, POC o POP dependiendo del cada caso.

## 5. Escenarios

Hasta ahora, los casos y esquemas que hemos visto, sólo se aplican a un operador y a un vendor. Sin embargo, en la vida real estos escenarios “ideales” han ido dejando paso a otros donde diferentes operadores deben coexistir, o un mismo operador dispone de equipos en su red de diferentes vendors, debiendo compatibilizarse entre las mismas.

### 5.1. Sharing

Debido a los difíciles momentos que han pasado todas las compañías en estos tiempos, y debido a los altos costes de despliegue que conllevan la instalación o mejora de las redes actuales, los diferentes operadores tomaron la decisión de reducir sus costes de CAPEX y OPEX llevando una compartición de los elementos de sus redes. A esta compartición es a la que se le llama Sharing. Esta compartición puede hacerse de dos maneras distintas:

#### 5.1.1. Pasivo

Cuando sólo se comparten los elementos pasivos de red, pero ninguno activo, se le conoce como Site Sharing. Se compartirán elementos como mástil, edificio y armario, e incluso energía y aire acondicionado, pero cada uno con sus propios equipos de red.

#### 5.1.2. Activo

En el caso de que los distintos operadores compartan equipos en toda la red, acceso, transmisión e incluso núcleo (common shared network), se le conocerá como RAN Sharing. En este caso, además de realizarse el mayor ahorro, los operadores pueden centrarse en realizar nuevos despliegues, cada uno en su zona de trabajo, para que ambos operadores aumenten el tamaño de su red a una mayor velocidad.

No todos los operadores están dispuestos a llevar a cabo esta compartición, ya que en la mayoría de los casos un operador le tiene que ceder información confidencial al otro sobre la operación y mantenimiento de su propia red.

Vamos a explicar en mayor profundidad los escenarios de Sharing activo con núcleo propio, ya que el caso práctico que desarrollaremos será uno de este tipo.

### 5.2. 1 operador 1 vendedor

Siendo este el caso más sencillo, sólo llevaremos a cabo la integración de un nuevo nodo en la red, para un operador que sólo trabaja con un vendedor en su red activa. El núcleo de la red puede ser de este mismo vendedor, o de otro cualquiera, pero todos sus equipos (MSC o MME) deben ser del mismo.



Figura 32. Toda el área de nuestro operador sería cubierto por un único vendedor

### 5.3. 1 operador 2 vendedores

En este caso, un mismo operador contará con equipos de dos vendedores distintos, lo que nos llevará a tratar nuestros propios equipos como elementos externos en la red del otro vendedor.



Figura 33. El área de cobertura de nuestro operador estaría diferenciada dependiendo del vendedor

## 5.4. 2 operadores 1 vendedor

Este será el primero de los casos de RAN Sharing, donde ambos operadores trabajan con los equipos del mismo vendedor. Todos los nodos que pertenezcan al operador B, y que estén en la zona de integración del operador A, se desmontarán para reintegrarse empleando todos los elementos activos del otro operador, y viceversa.



Figura 34. En un caso de compartición sharing el área de cobertura se dividiría entre los operadores

El diseño de este caso se realizará de la siguiente manera:

1. Cada operador trabaja independientemente:

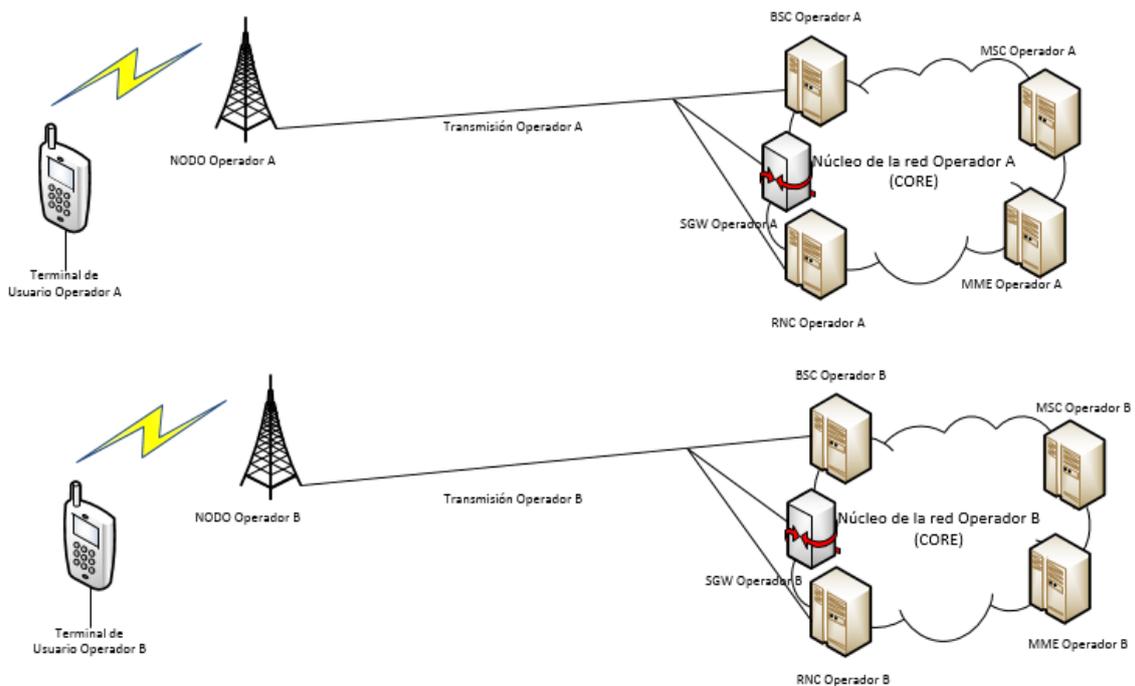


Figura 35. Estado de la red de comunicaciones móviles cuando cada operador opera de manera independiente

2. El Operador A monta nuevas antenas para el operador B en su nodo. El operador B enviará la definición del nodo, tanto en el propio emplazamiento, como en los equipos finales de transmisión (BSC, RNC y SGW), dejando en manos del operador A su transmisión.

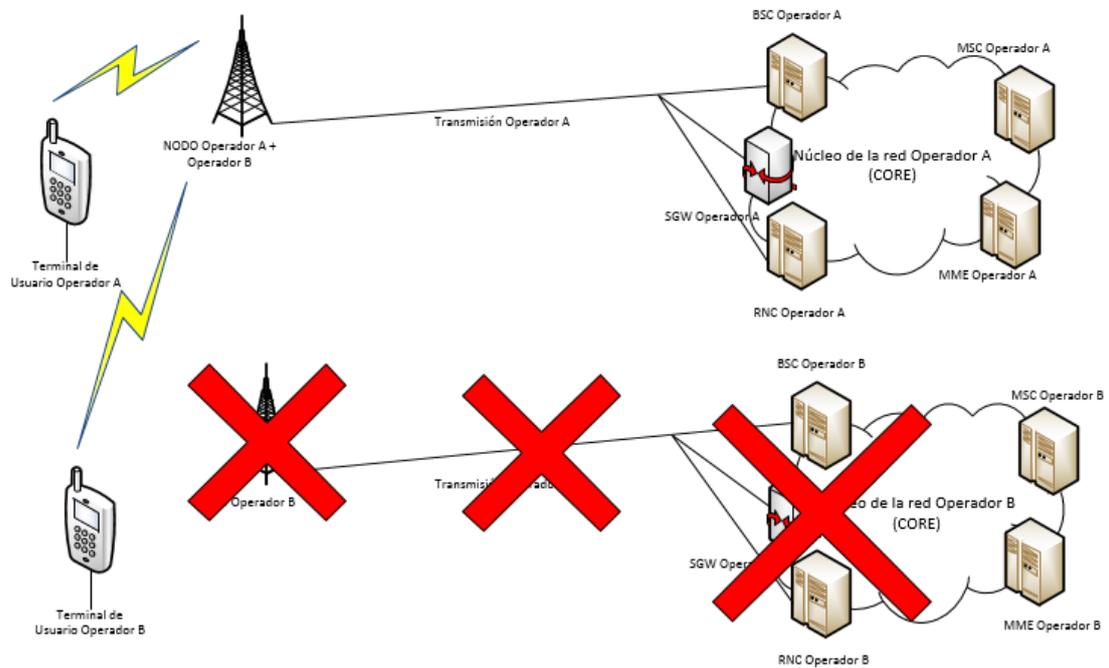


Figura 36. En un sharing se desmontan los equipos de acceso y transmisión de uno de los operadores

3. Se define el nodo del operador B en el propio núcleo de la red. Para ello, los equipos finales de transmisión del operador A deben estar conectados a los equipos propios del núcleo.

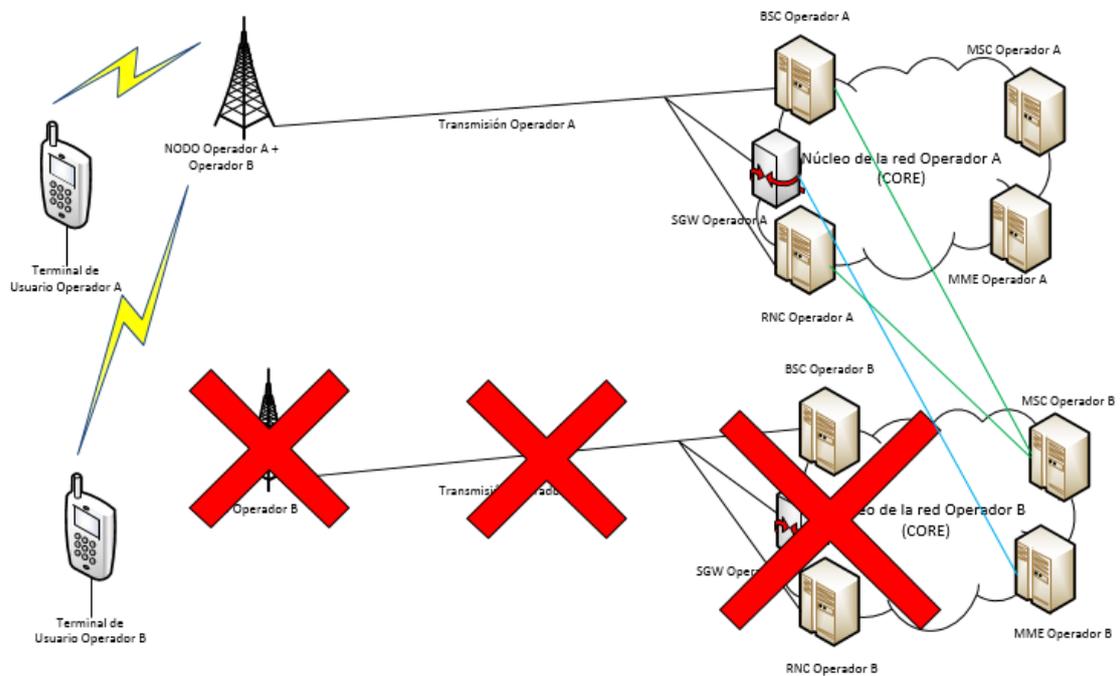


Figura 37. Se conectan los equipos de transmisión finales del operador que mantiene la red al núcleo del otro operador

### 5.5. 2 operadores 2 vendedores

Este será el caso más complejo con el que habremos tratado. Aunque en nuestro dibujo hemos diferenciado de una manera muy clara los vendedores dentro de los operadores, en la vida real esta diferencia no es tan clara. Es habitual que toda una comunidad autónoma pueda pertenecer a un vendedor, excepto las capitales de provincia que pertenecerían a otro, quedando esta diferenciación de una manera mucho más confusa.

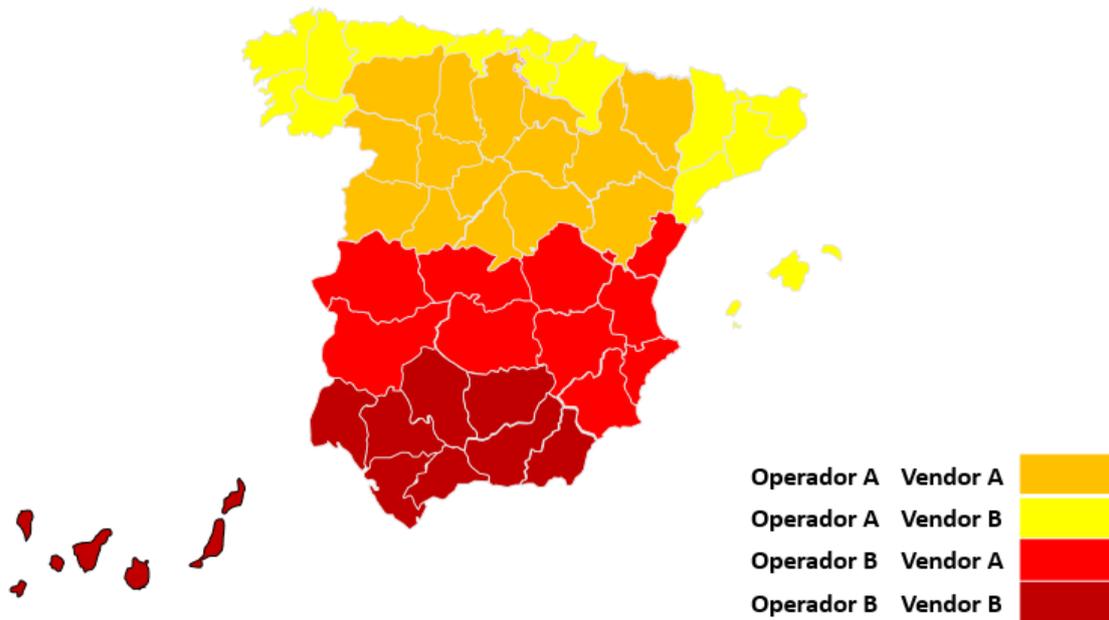


Figura 38. División del área de cobertura entre los diferentes operadores y vendedores

Este caso es muy parecido al anterior, sólo que los nodos y los equipos finales de transmisión pueden ser de cualquiera de los dos Vendedores, siendo necesario el envío de diferentes definiciones para cada uno de ellos.

## 6. Caso práctico

Ahora veremos todos los pasos de diseño que llevaremos a cabo, cuando nos soliciten la instalación de un nuevo nodo. Los trabajos previos que serán necesarios antes de comenzar el diseño propiamente dicho, y los diseños de radio y de transmisión. Para finalmente realizar una medida de los estadísticos del mismo y comprobar su funcionamiento.

### 6.1. Trabajos previos

El operador, nos habrá solicitado que busquemos un nuevo emplazamiento para dar cobertura a un área específica. Lo primero que llevaremos a cabo, será un estudio en campo de los posibles candidatos más viables.

#### 6.1.1. Visita de campo

Para ello, los técnicos de campo tendrán en cuenta los dos puntos más importantes para el diseño:

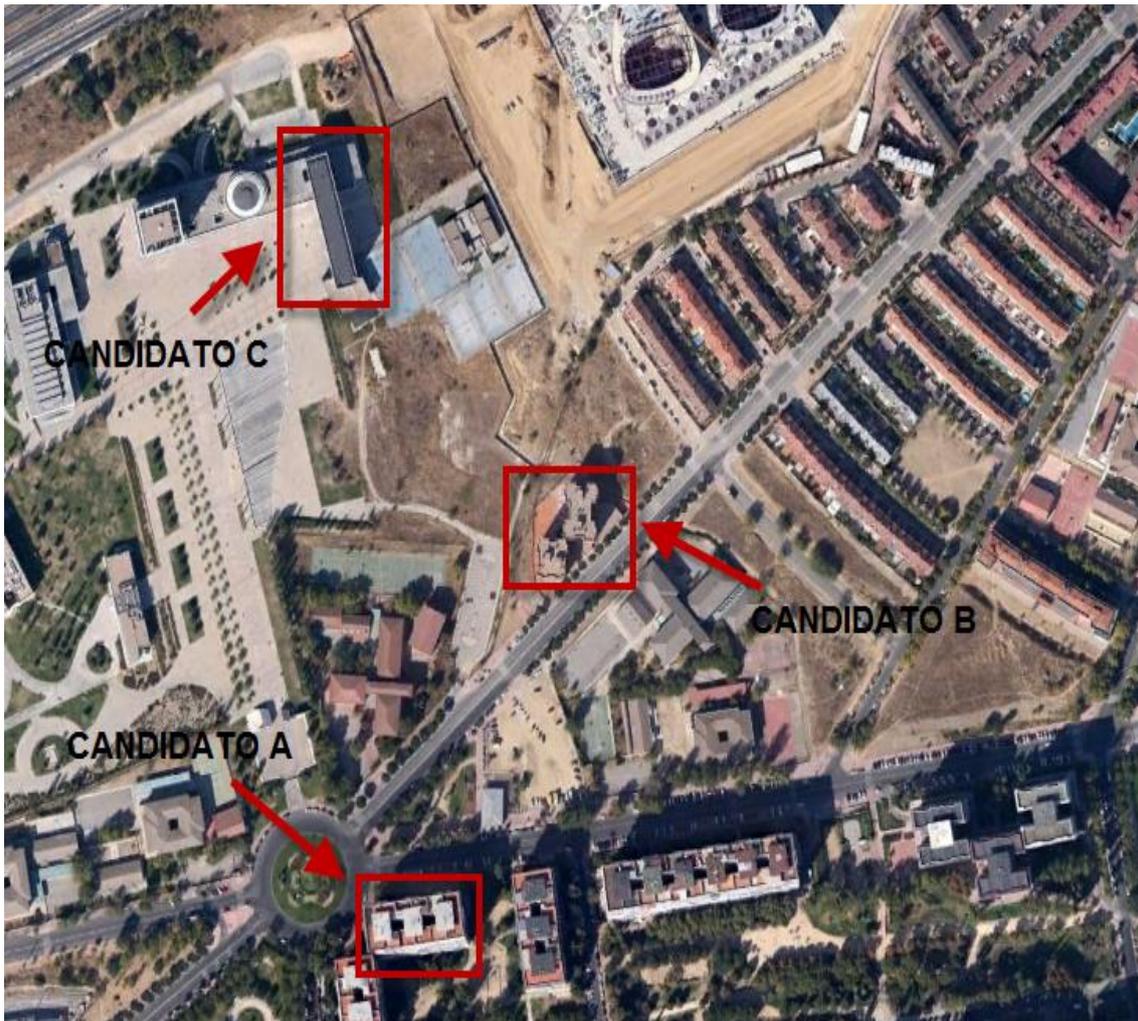
1. Orientaciones de las antenas. Querremos maximizar el área de cobertura, cubriendo la zona solicitada, sin perjudicar a los nodos existentes actualmente.
2. Línea de vista con los vanos actuales. En caso de que fuera necesario instalar un nuevo radioenlace, será crucial que el nodo no tenga obstáculos con alguno de los ya instalados.

Pongamos el ejemplo en el que nos pedían añadir un nodo en Móstoles, ya que era necesario cubrir el área de sombra de la zona remarcada en rojo.



Figura 39. Mapa de la zona donde se quiere mejorar la cobertura

Después de que los técnicos acudieran a la zona, ofrecieron 3 candidatos posibles:



*Figura 40. Localización de candidatos*

El Candidato A, era un edificio de 10 plantas en una zona despejada y dominante.

El candidato B, era un edificio de 6 plantas bastante dominante respecto a la zona oeste.

El candidato C, era la universidad de Móstoles. Un edificio de 4 plantas, que cubriría además el hospital, aunque la zona de pisos estaría limitada debido a la altura.

Una vez hecho este estudio, se le remitirá al operador, junto con fotos de las visuales desde las azoteas de los candidatos. Este estudiará la viabilidad de estos emplazamientos. Cuando vean cuál de ellos les conviene más, llegarán a un acuerdo económico con el propietario o con otro operador, si van a compartir emplazamiento.

Nos remitirán su decisión, para que comencemos la parte de diseño. Se nos proporcionará la decisión que se ha tomado respecto al número de sectores que se usarán, la orientación de los mismos, junto con su tilt y la potencia con la que radiará la antena, así como los equipos que será necesario instalar.

Después de esto, comenzará la parte de diseño, la cual se diferenciará en dos partes:

1. Diseño Radio.

## 2. Diseño Transmisión.

Desarrollaremos y explicaremos en detalle los trabajos que llevaremos a cabo en cada una de ellas. Ambos son dos trabajos bien diferenciados, pero una parte no puede funcionar sin la otra.

### 6.2. Diseño radio

En la parte del diseño de radio, nos ocuparemos de la creación y definición del nodo dentro de la red. Para ello, se tendrá que llevar a cabo un trabajo de instalación física del nodo, configuración del mismo e inventariado en la base de datos del operador y del vendor.

El inventariado en la base de datos del operador, será únicamente para llevar un seguimiento de los emplazamientos, y de sus características más importantes, ya que el control del funcionamiento y mantenimiento, será llevado a cabo por el vendor (siendo el propietario del equipo).

#### 6.2.1. Instalación de equipo

Si nuestro diseño no fuera un sharing, el operador le encargará al vendor la instalación del equipo con las tecnologías de su interés. Aquí no sólo entra en juego la capacidad de instalación del operador, sino cierta burocracia asociada con cada instalación.

En el caso de la instalación de la tecnología 4G, debemos tener el visto bueno del ministerio, ya que la frecuencia más utilizada LTE800 funciona en 800 MHz igual que el TDT, por lo que la zona debe estar preparada para la instalación y evitar las interferencias.

De la misma manera, en la instalación de 2G y 3G debemos disponer de las licencias necesarias para el funcionamiento de las mismas.

En caso de ser un diseño sharing, el operador propietario del equipo de acceso radio, nos informará de la capacidad de instalación que tendrá nuestro operador (número de sectores, tecnologías a instalar, etc.).

#### 6.2.2. Creación de plantillas

Se enviarán una serie de archivos a las que llamamos plantillas. Esto es porque llevará una serie de valores de manera fija, y otra que dependerá del diseño que estemos haciendo en el momento.

##### Creación de celdas

Este archivo contendrá la información del nodo que vamos a integrar:

- Nombre del emplazamiento.
- Número de sectores.
- Características propias dependiendo de la tecnología (BCCH en 2G, PSC en 3G o PCI en 4G).

##### Definición de vecinas

Será necesario que definamos nuestra nueva celda en los nodos ya existentes, así como los existentes en la nuestra. A esto lo llamamos tener en cuenta el entorno.

- Vecinas directas. Definimos las celdas vecinas en nuestro nuevo nodo.
- Vecinas recíprocas. Definimos nuestras celdas en las celdas del entorno.

Estas dependerán de la tecnología que estemos implementando, ya que se deberá hacer en distintos equipos (BSC en 2G, RNC en 3G o en el propio nodo en 4G).

En el caso de 2G y 3G, también tendremos que hacer definiciones de la celda en los equipos MSC de core y en el caso de 4G en los MME.

### 6.2.3. Carga de plantillas

Estas plantillas se enviarán para que el vendor lo pueda crear en su red. Después de que el trabajo se haya realizado, deberemos comprobar que se ha hecho de manera correcta, antes de que demos el diseño radio como finalizado correctamente.

En este punto, el nodo no estará radiando todavía, pues será necesario llevar a cabo el diseño de transmisión.

## 6.3. Diseño de transmisión

Con la parte realizada en el diseño de radio, dispondremos de un nuevo nodo en la red, pero será un nuevo equipo aislado. Lo que tendremos que hacer es conectarlo físicamente con el resto de la red existente. Este es el trabajo que se llevará a cabo en la parte del diseño de transmisión.

### Conectividad

Como hemos visto anteriormente, hay dos maneras de conectar nuestro nodo al punto de acceso de fibra más cercano, estas son:

- Radioenlace. Tendremos que utilizar uno o más radioenlaces para poder llegar hasta un equipo de este tipo.
- Fibra óptica. Nuestro propio emplazamiento tendrá instalado o llevaremos a cabo una instalación de un punto de concentración (CSG, POC o POP).

### 6.3.1. Instalación de equipo

Dependiendo de la solución de conectividad que queramos darle a la instalación de nuestro nuevo nodo, será necesario la instalación en el emplazamiento de un nuevo equipo de radio enlace PMW o un punto de concentración de fibra óptica.

Durante la visita de campo, los técnicos habrán visto si el emplazamiento cumpliría con el criterio de LoS necesario para la instalación de un nuevo radioenlace. Se comprobaría si tenemos línea de vista directa con alguno de los nodos de nuestro alrededor, y en caso afirmativo, se utilizaría el programa iQLink para comprobar si un diseño de un nuevo radioenlace sería posible, sin perjuicio para la red ya desplegada.

Vamos a ver los perfiles de elevación de cada uno de nuestros candidatos con los nodos de su entorno en Google Earth, para tener una idea aproximada del LoS de cada uno de ellos.

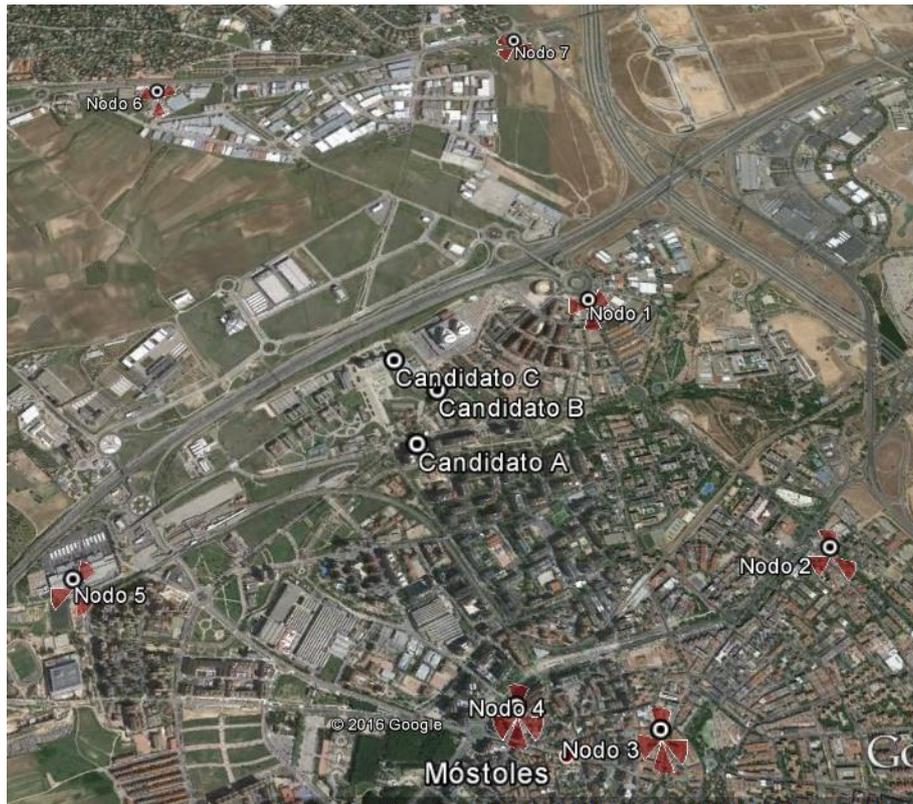


Figura 41. Localización de los diferentes candidatos con los nodos de su entorno

#### Conectividad del Candidato A

Veremos la conectividad del candidato A con su entorno.



Figura 42. Líneas de medida del candidato A con los nodos de su entorno

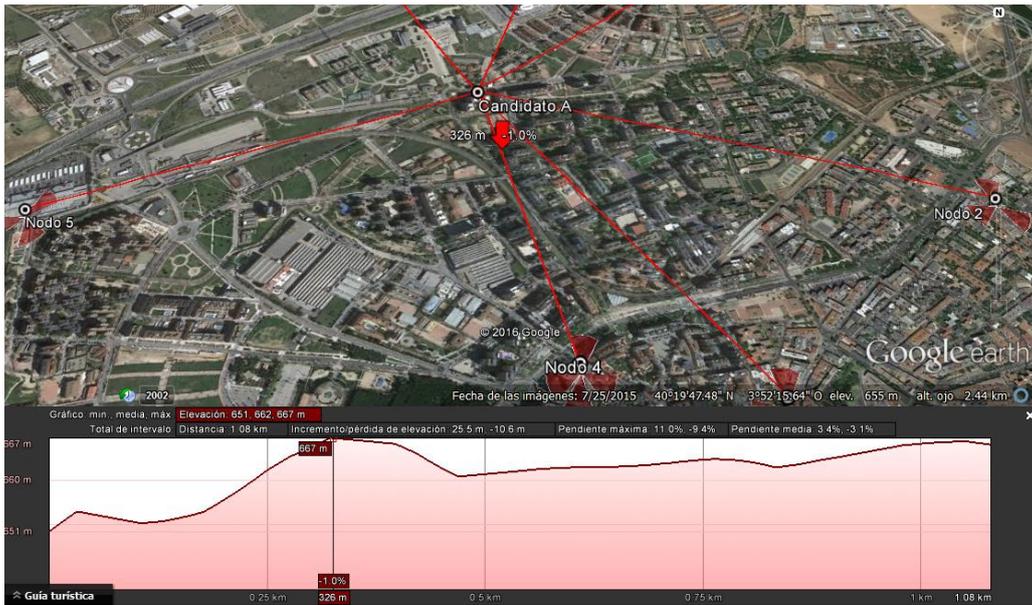


Figura 43. Perfil de elevación del candidato A con el Nodo 4

El candidato A, no muestra ningún buen perfil de elevación con los nodos vecinos, debido a la altura del edificio donde se instalaría.

#### Conectividad del Candidato B

Veremos la conectividad del candidato B con su entorno.



Figura 44. Líneas de medida del candidato B con los nodos de su entorno

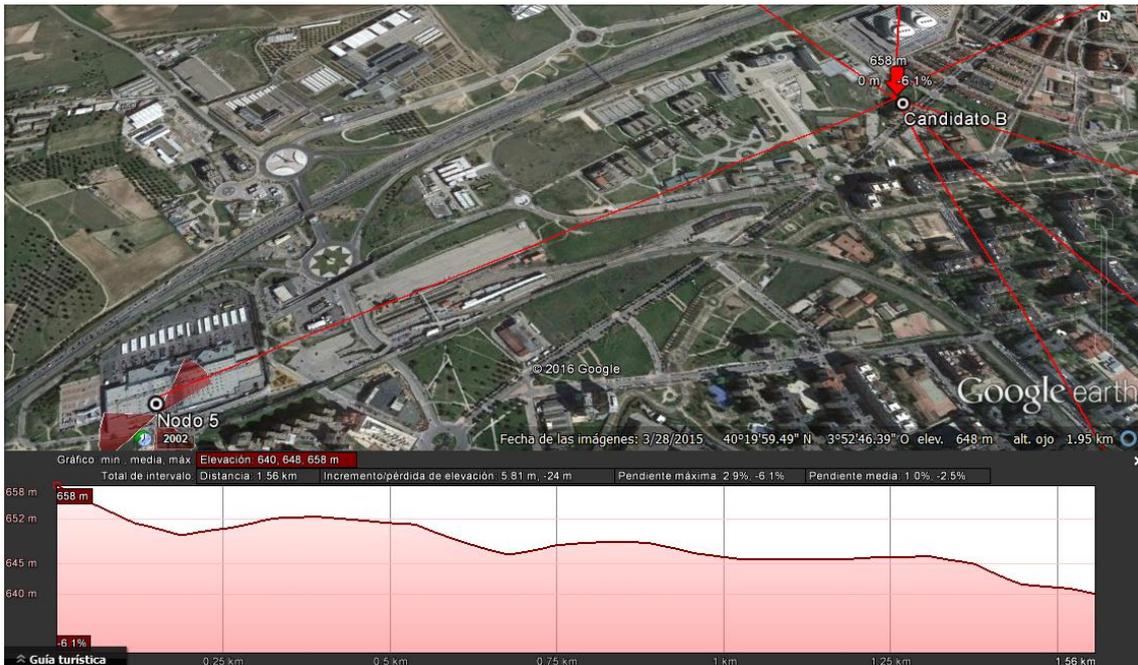


Figura 45. Mejor perfil de elevación del candidato B

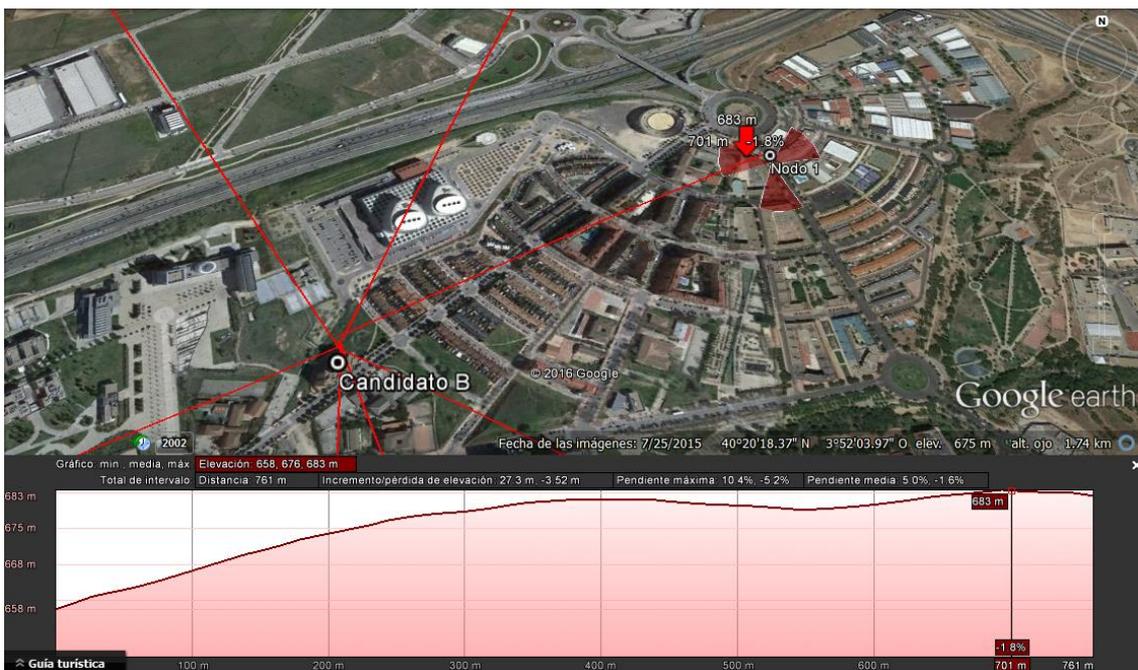


Figura 46. Perfil de elevación del candidato B con el nodo más próximo

El candidato B, presentaría algún buen perfil, aunque no fuera contra su nodo más cercano.

### Conectividad del candidato C

Veremos la conectividad del candidato C con su entorno.



Figura 47. Líneas de medida del candidato C con los nodos de su entorno

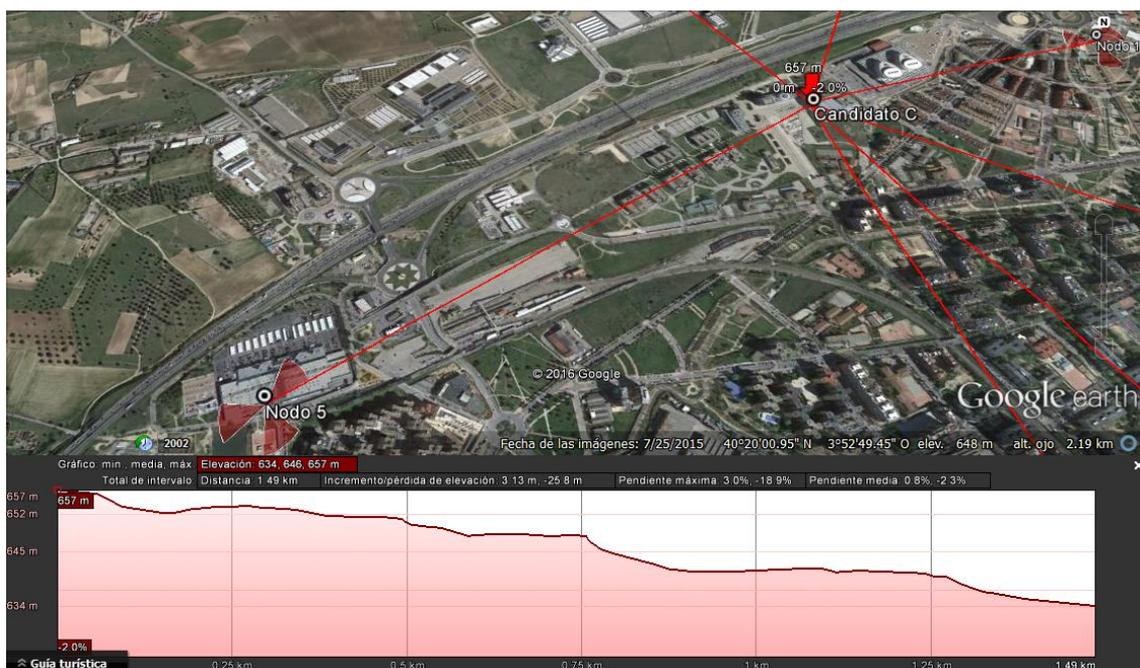


Figura 48. Primer mejor perfil de elevación del candidato C

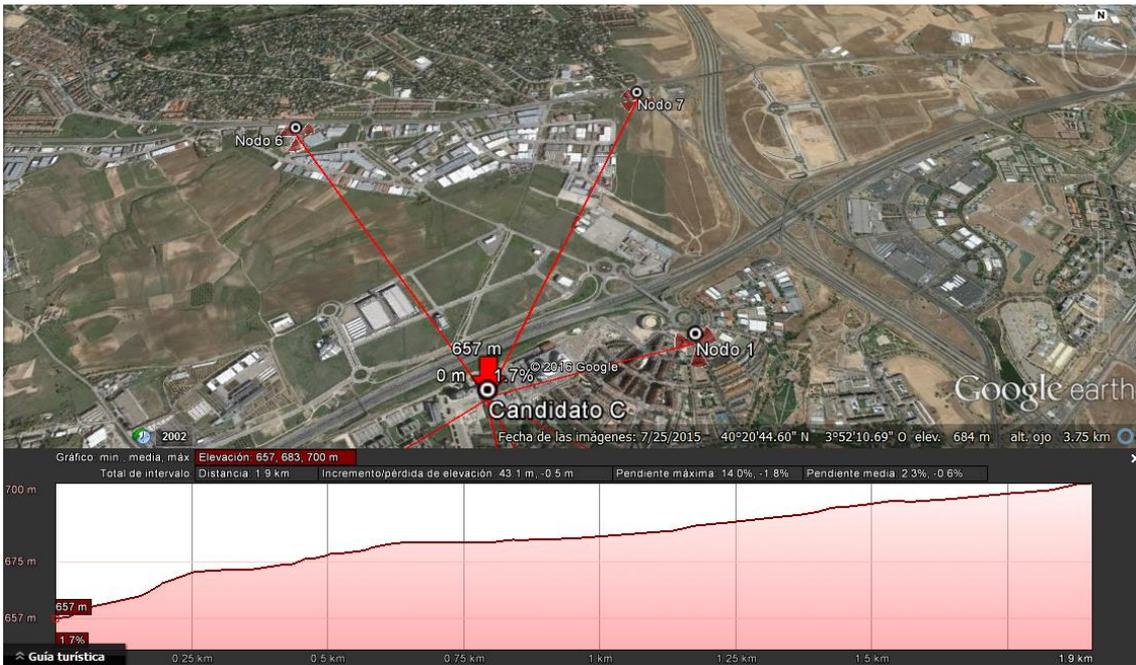


Figura 49. Segundo mejor perfil de elevación del candidato C

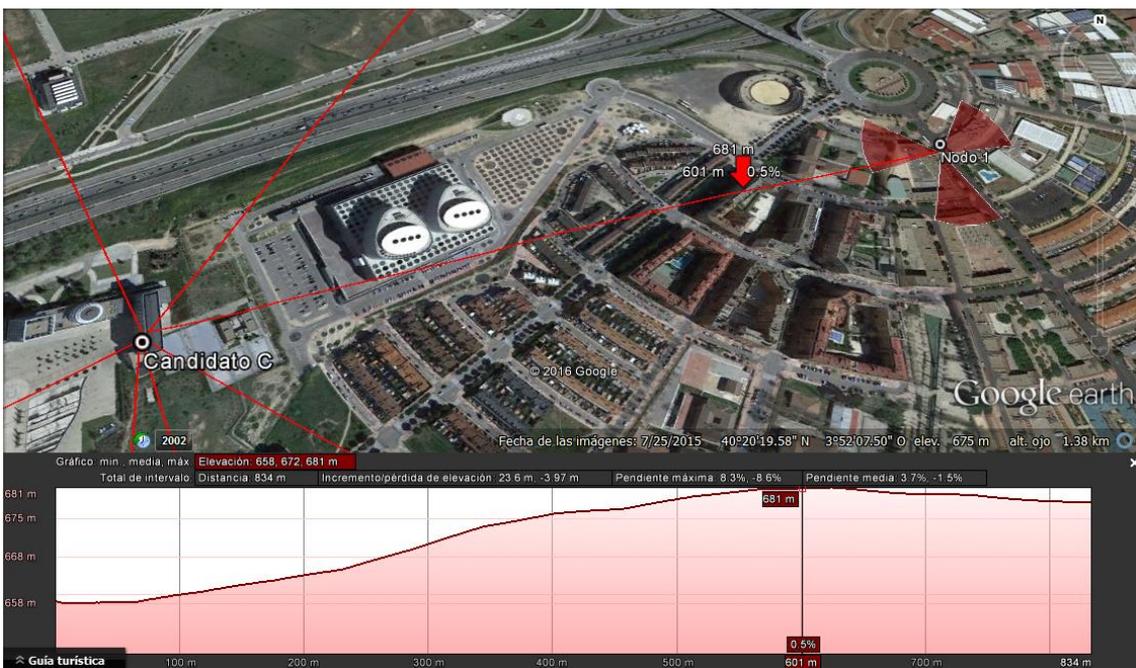


Figura 50. Perfil de elevación del candidato C con su nodo más próximo

El candidato C, es el que mejor perfiles de elevación tendría con nodos de su entorno, aunque su nodo más próximo tendría mala visibilidad debido a la altura de los edificios de su entorno.

Toda esta información, sería enviada al operador para que tomara la decisión final, ya que quizá no dispusiera del equipamiento necesario, o tuviera en mente una solución distinta de la propuesta.

En caso de que nuestro diseño fuera un Sharing, de la parte de transmisión se encargaría el propietario de la red en el que estamos instalando el nodo, siendo completamente transparente para el operador no propietario de los equipos.

### 6.3.2. Diseño del enrutamiento

Para realizar esta parte del trabajo, prepararemos un documento que contenga todas las conexiones necesarias desde nuestro nodo, hasta el equipo final.

Este comenzará en el módulo de transporte (tarjeta SIU), y se conectará con uno de los dos equipos diseñados anteriormente, un equipo PMW o un CSG.

Si nuestra conexión es un equipo PMW, continuará a través de una cadena de vanos PMW. Dependiendo de vendor, se establecerá un número de saltos máximos, para que en caso de producirse un fallo en uno de ellos, no haya más de un número máximo establecido de usuarios que se queden sin servicio hasta solucionar la incidencia.

En nuestros diseños, por decisión del operador, en el peor caso, se pueden dar conexiones de nodos con 9 vanos (6 en el caso de MM). Hasta que lleguemos a un equipo concentrador.

Llevaremos a cabo una instalación de un nuevo equipo PMW, creando un nuevo radioenlace contra otro PMW ya existente, habiendo instalado en este segundo únicamente la antena junto con las conexiones necesarias. Esto se habrá hecho en la visita al lugar del emplazamiento, cuando hemos realizado la línea de vista.

#### *Línea de vista (LOS)*

Se deberá comprobar si existe Línea de Vista (LOS) entre los dos puntos donde queremos realizar el diseño del radioenlace. La aplicación IQLINK nos dará una representación 2D del perfil del terreno:

Como esta comprobación es simplemente orientativa, los técnicos de campo habrán comprobado previamente que exista línea de vista real entre los dos extremos.

El emplazamiento contra el que crearemos nuestro nuevo radioenlace, formará parte de una ruta de vanos que ya tendrá una conectividad contra un equipo de fibra, por lo que únicamente tendremos que utilizar el enrutamiento ya existente contra el mismo:

Podemos ver un esquema del seguimiento que llevaremos de los nodos con las conexiones de vanos entre ellos, hasta alcanzar el equipo concentrador de fibra.

Si nuestra conexión se realiza con un equipo CSG, o hemos llegado a uno a través de una cadena PMW, tendremos que conectarnos a una cadena de equipos ópticos. Nuestro siguiente paso será el conectarnos a un equipo POC. De este equipo POC tendremos que conectarnos a un equipo POP.

Si la instalación del equipo CSG la hemos realizado nosotros, tendremos que crear los túneles LSP contra los equipos POP. Igual que en el anterior caso, para llevar esto a cabo, sólo tendremos que crear las conexiones contra los equipos POC, y reutilizar las conexiones POC-POP ya existentes.

Si no hemos instalado ningún equipo de fibra, simplemente podremos reutilizar los túneles LSP ya existentes a partir del punto concentrador hasta el que lleguemos a través de la cadena de vanos.

Para llevar a cabo esto, utilizaremos uno de los gestores del vendor:

Una vez que tengamos el enrutamiento listo contra los equipos POP, estos equipos serán los que estén directamente conectados a las BSC, RNC o SGW.

### *Decisión del operador*

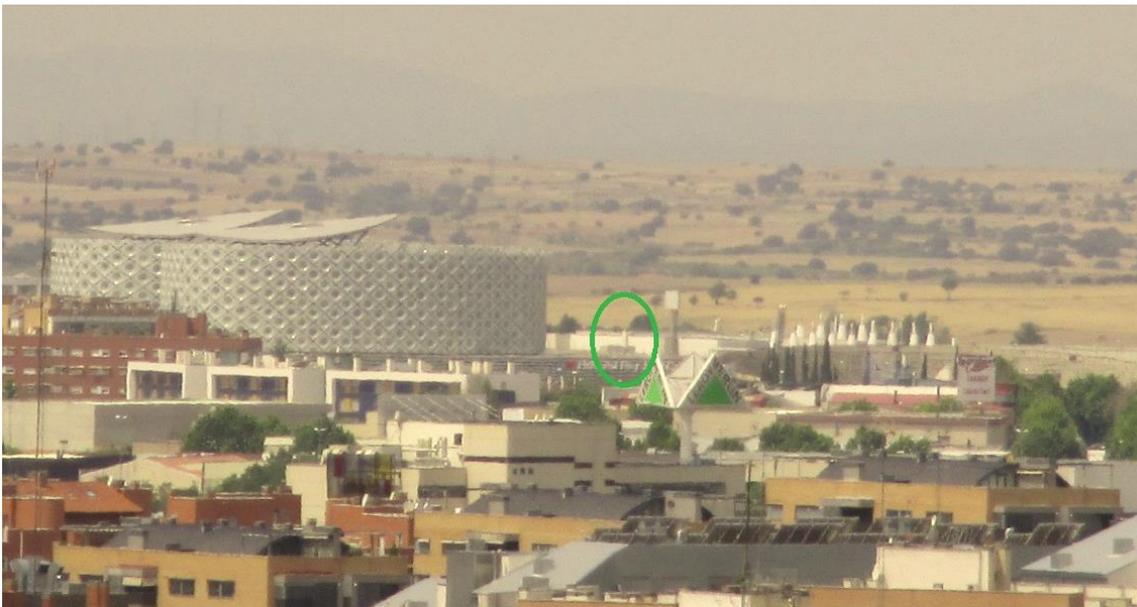
Después de enviarle al operador toda la información respecto a los candidatos y sus posibles soluciones de conectividad, este nos remitió su decisión.

Después de ver los candidatos, se habló con los propietarios de los emplazamientos, para ver si alguno de ellos disponía de alguna preinstalación previa (antenas, armario para equipos, etc.), de otro operador, o de un contrato previo.

Viendo el trabajo de previo hecho con Google Earth, el operador se decidió por el candidato C, en la Universidad de Móstoles, a pesar de no disponer de ninguna preinstalación previa y tener que hacer una inversión extra en adecuar el emplazamiento a la instalación de un nuevo nodo.

Los nodos del entorno, están conectados por vanos de alta capacidad, por lo que no hay puntos de fibra óptica cercanos. La necesidad de cobertura de este nuevo nodo, no cuenta con un tráfico futuro muy grande, por lo que no se cree necesario la instalación de un punto de fibra en este nuevo emplazamiento, por lo que sólo nos queda la solución del vano para la conectividad del mismo.

Cuando se visitó el emplazamiento en la visita de campo, se pudo ver una línea de vista muy clara con un vano ya existente.



*Figura 51. Línea de vista desde el emplazamiento existente hacia nuestro nuevo emplazamiento*

Es un emplazamiento de Alcorcón, están a una distancia de 4 Kms y entre ambos hay una LOS muy clara sin obstáculos entre ellos.

Este emplazamiento dispone de un mástil con antenas de radio enlaces, además de ser un punto de fibra óptica, por lo que la conectividad hasta los equipos finales se llevarán a partir de este punto por sus LSPs correspondientes.



*Figura 52. Equipos instalados en el emplazamiento existente donde se instalaría la nueva antena del radioenlace*

Se van a instalar 3 sectores, orientados a  $120^\circ$ ,  $180^\circ$  y  $240^\circ$ . Además, inicialmente sólo se instalarán las tecnologías 2G (GSM900) y 3G (UMTS900 y UMTS2100 3 portadoras), dejando la instalación del LTE para un proyecto posterior.



Figura 53. Línea de medida entre el emplazamiento existente y nuestro nuevo nodo

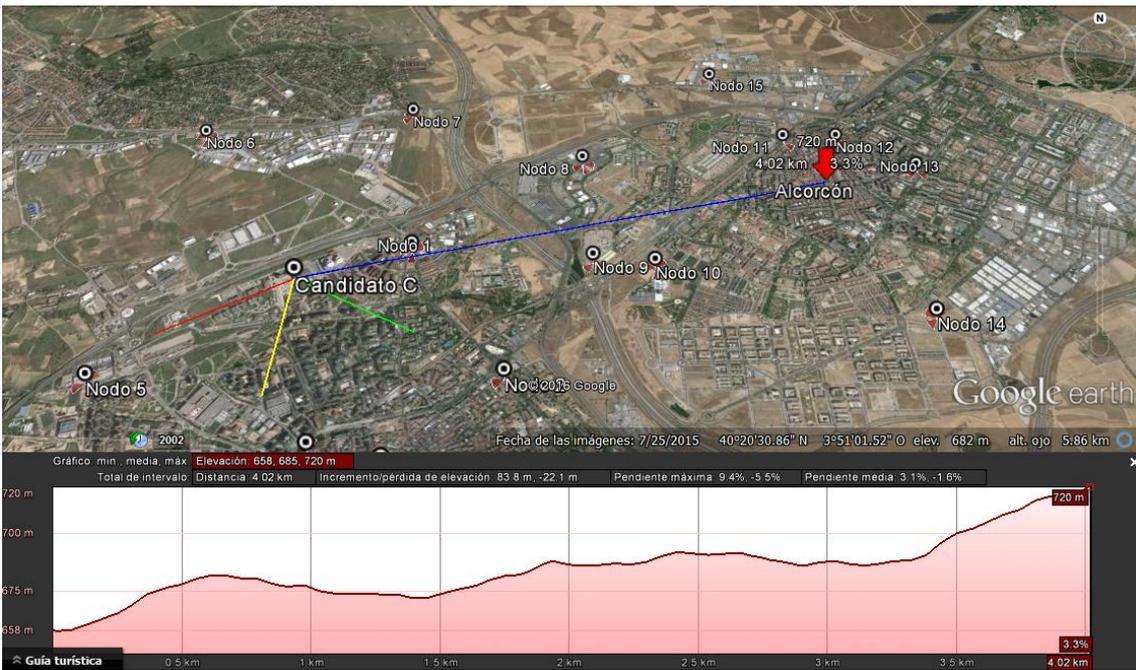


Figura 54. Perfil de elevación entre emplazamientos

### 6.3.3. Diseño IP LINE

Como nuestro diseño será FULL-IP, cada una de nuestras conexiones deberá disponer de una IP única en toda la red.

Deberemos preparar una plantilla donde asignemos una IP a cada interfaz nueva que hayamos instalado en nuestra red. Dependiendo del tipo de conexión, dispondremos de unas IPs reservadas para que las empleemos en cada nueva integración. Para las conexiones ya existentes, lo único que deberemos enviar serán las IPs que ya estén utilizando las mismas, para cuando tengamos que inventariarlas en los gestores.

CSG	SALIDA		POC	ENTRADA	SALIDA		POP	ENTRADA
SLOT	5		SLOT	1	18		SLOT	3
PUERTO	1		PUERTO	8	8		PUERTO	8
IP	10.221.24.81		IP	10.221.24.82	10.221.48.249		IP	10.221.48.250
IP MASK	255.255.255.252		IP MASK	255.255.255.252	255.255.255.252		IP MASK	255.255.255.252
CONEXIÓN (FE/GE)	FE		CONEXIÓN (FE/GE)	FE	GE		CONEXIÓN (FE/GE)	GE

Figura 55. Diseño de las IPs en los diferentes interfaces de una conexión LSP

### 6.3.4. Carga en los gestores

Una vez instalados nuestros equipos físicos, y terminado el diseño de cómo quedará en la red, deberemos inventariarlos junto con sus conexiones en los diferentes gestores y bases de datos.

Los equipos de los diferentes vendors, serán inventariados y controlados desde los gestores de estos, pero el inventariado de las conexiones End to End (E2E) deberá hacerse en la base de datos del proveedor del servicio.

The screenshot shows a configuration page for a trail connection. At the top, it identifies the nodes as 'NODO A' and 'NODO Z', with a series number '0002'. Below this, there are tabs for 'Detalle Trail', 'Link Connections', and 'Productos Impactados'. The 'Detalle Trail' tab is active, showing various configuration parameters:

- Estado del Trail:** Instalado
- Tipo de Transmisión:** LDPA
- Subtipo de Transmisión:** NB-RNC
- Tipo de Protección:** (empty)
- Trail protector:** (empty)
- Peso lógico:** 0
- Num. VP:** 2
- Referencia de Red:** (empty)
- F. de Creación:** (empty)
- F. de Entrega Prevista:** (empty)
- F. de Inicio:** (empty)
- F. de Entrega:** (empty)
- F. de Eliminación Prevista:** (empty)
- Utr. ult.Modificación:** (empty)
- F. Ultima Modificación:** (empty)
- Comentario:** VOZ + R99  
DATOS --> LAST MILE AMEL 03914 + AMEL 03915

At the bottom, there are two sections for 'Nodo Presente A' and 'Nodo Presente Z', each with fields for 'Equipo', 'Puerto', and 'Dirección Lógica' (LU, SLU).

Figura 56. Captura del gestor de inventariado del operador

## 6.4. Puesta ON AIR

Para la parte de diseño, debemos comprobar que el nodo se ha cargado con los datos que nosotros hemos enviado, y que además se cumple la parametrización solicitada por el operador. Esta parametrización, será una serie de valores que el operador habrá establecido que se deben poner en nuestros nodos, para funcionar correctamente.

Para la parte de transmisión, debemos comprobar que tenemos conectividad entre todos los equipos de nuestro enrutamiento, así como que se cumplen todos los criterios de protección que hayamos aplicado en este.

Después de que se cumplan ambas partes, solicitaremos que el nodo se ponga a radiar, para monitorizar su evolución.

## 6.5. Monitorización

Una vez que el nodo se ha puesto a radiar, monitorizamos su funcionamiento para ver que su funcionamiento es correcto y que además, no está afectando a su entorno.

Dependiendo del operador y del vendor, esto se realizará con distintos gestores, sacando las estadísticas de funcionamiento a lo largo de varios días.

Vamos a ver las estadísticas del nuevo nodo, a lo largo de varios días, para la tecnología 2G:

<b>GSM</b>				
<b>Celda (T)</b>	<b>% DropTCH</b>	<b>% BlockTCH</b>	<b>% CSSR Cong</b>	<b>% ÉxitoHO</b>
<b>Candidato C sector 1</b>	<b>0,18</b>	<b>0,18</b>	<b>99,46</b>	<b>99,22</b>
<b>Candidato C sector 2</b>	<b>1,48</b>	<b>0,38</b>	<b>99,15</b>	<b>99,42</b>
<b>Candidato C sector 3</b>	<b>1,64</b>	<b>0,33</b>	<b>99,26</b>	<b>99,51</b>

*Tabla 1. Estadísticas de los tres sectores 2G de nuestro nodo*

Podemos ver que el porcentaje de llamadas caídas (DropTCH) y bloqueadas (BlockTCH) es muy bajo, siendo el éxito de llamadas (CSSR Cong) y el éxito de Handovers (ÉxitoHO) muy alto. Aun así, cada operador habrá establecido previamente un umbral que se deberá cumplir en cada diseño para darlo como correcto:

<b>KPI</b>	<b>Threshold</b>
% DropTCH	<3%
% CSSR Cong	>96%
% BlockTCH	<1%

*Tabla 2. Umbrales 2G que deben cumplir nuestros diseños*

En nuestro caso, vemos que cumplimos todos los umbrales, por lo que el funcionamiento de nuestra tecnología 2G sería correcta.

Vamos a revisar las estadísticas de la tecnología 3G en el mismo periodo:

<b>WCDMA</b>						
<b>UTRANCELL</b>	<b>CSSR CS</b>	<b>CSSR PS</b>	<b>DCR CS</b>	<b>DCR PS</b>	<b>%HOSR</b>	<b>RSSI</b>
<b>Candidato C U2100 1ª portadora sector 1</b>	<b>99,89</b>	<b>99,87</b>	<b>0,13</b>	<b>0,82</b>	<b>ND</b>	<b>-105,63</b>
<b>Candidato C U2100 2ª portadora sector 1</b>	<b>99,86</b>	<b>99,80</b>	<b>0,32</b>	<b>1,80</b>	<b>ND</b>	<b>-105,31</b>
<b>Candidato C U2100 3ª portadora sector 1</b>	<b>99,97</b>	<b>99,90</b>	<b>0,17</b>	<b>1,13</b>	<b>ND</b>	<b>-105,08</b>
<b>Candidato C U2100 1ª portadora sector 2</b>	<b>99,84</b>	<b>99,92</b>	<b>0,19</b>	<b>0,46</b>	<b>ND</b>	<b>-104,12</b>
<b>Candidato C U2100 2ª portadora sector 2</b>	<b>99,80</b>	<b>99,87</b>	<b>0,20</b>	<b>1,06</b>	<b>ND</b>	<b>-102,59</b>
<b>Candidato C U2100 3ª portadora sector 2</b>	<b>99,92</b>	<b>99,89</b>	<b>0,17</b>	<b>0,73</b>	<b>ND</b>	<b>-101,69</b>
<b>Candidato C U2100 1ª portadora sector 3</b>	<b>99,76</b>	<b>99,91</b>	<b>0,47</b>	<b>0,58</b>	<b>ND</b>	<b>-105,19</b>
<b>Candidato C U2100 2ª portadora sector 3</b>	<b>99,95</b>	<b>99,92</b>	<b>0,13</b>	<b>0,89</b>	<b>ND</b>	<b>-104,43</b>
<b>Candidato C U2100 3ª portadora sector 3</b>	<b>99,87</b>	<b>99,96</b>	<b>0,16</b>	<b>0,56</b>	<b>ND</b>	<b>-104,58</b>
<b>Candidato C U900 sector 1</b>	<b>99,82</b>	<b>99,91</b>	<b>0,65</b>	<b>2,36</b>	<b>ND</b>	<b>-105,93</b>
<b>Candidato C U900 sector 2</b>	<b>99,65</b>	<b>99,76</b>	<b>1,03</b>	<b>2,75</b>	<b>ND</b>	<b>-104,15</b>
<b>Candidato C U900 sector 3</b>	<b>99,41</b>	<b>99,87</b>	<b>1,05</b>	<b>1,46</b>	<b>ND</b>	<b>-105,66</b>

*Tabla 3. Estadísticas de los tres sectores y diferentes portadoras 3G de nuestro nodo*

En el caso del 3G, sólo vamos a monitorizar el tráfico de voz, ya que será el más crítico en la satisfacción del cliente cuando se establezca una conexión. Diferenciaremos el tráfico que se cursa a través de conmutación de circuitos (CS) del de paquetes (PS).

Para ambos casos, podemos ver que el éxito de llamadas es muy alto (CSSR) siendo el porcentaje de caídas muy bajo en ambos casos (DCR). Podemos ver que el Drop Call Rate es mayor en los sectores 1 y 2 de U900 en el Packet Switching. Esto es coherente, ya que el ser la frecuencia menor, el área de cobertura es mayor, y la tecnología está preparada para descartar los paquetes cuando se produce un error.

Para esta caso específico, alguno de los contadores del gestor no recogía los datos correctamente, por lo que no se pudo sacar el éxito de Handovers. Esto se midió en la posterior prueba de Drive test.

Por último, se mide la potencia de la señal recibida, para ver si la potencia de radiación establecida en la antena es suficiente para satisfacer las necesidades de la instalación.

De igual manera, contaremos con unos valores umbrales que deberemos cumplir en nuestro diseño:

KPI name in Report	Threshold
CSSR CS ERI	>96%
CSSR PS ERI	>95%
DCR CS ERI	<2%
DCR PS ERI	<6%
RSSI	<-96dB

Tabla 4. Umbrales 3G que deben cumplir nuestros diseños

Igual que con la tecnología 2G, cumplimos todos los valores establecidos por el operador para dar por satisfactorio el funcionamiento de la tecnología 3G.

Por último, tenemos que comprobar que la instalación de nuestro nuevo nodo, no haya provocado degradaciones en nuestro entorno 2G y 3G:

GSM			
KPI	WEEK W-1	KPI	WEEK W+1
CSSR	97,54	CSSR	98,23
BlockTCH	1,15	BlockTCH	0,66
DropTCH	10,46	DropTCH	5,18
ÉxitoHO	96,75	ÉxitoHO	98,13

Tabla 5. Estadísticas del entorno 2G antes y después de la puesta ON AIR de nuestro nodo

GSM	
KPI name in Report	Threshold
CSSR degradation	<5%
DCR degradation	<20%

Tabla 6. Umbrales del entorno 2G que deben cumplir nuestros diseños

Cumplimos los umbrales de 2G.

WCDMA			
WEEK	W-1	WEEK	W+1
CSSR CS	99,73	CSSR CS	99,73
CSSR PS	99,81	CSSR PS	99,85
DCR CS	0,33	DCR CS	0,31
DCR PS	1,08	DCR PS	1,04
HOSR	ND	HOSR	ND

Tabla 7. Estadísticas del entorno 3G antes y después de la puesta ON AIR de nuestro nodo

WCDMA	
KPI name in Report	Threshold
CSSR degradation	<5%
DCR degradation	<20%

Tabla 8. Umbrales del entorno 3G que deben cumplir nuestros diseños

Así como los de 3G.

Según las estadísticas medidas por los gestores del vendor, el nuevo nodo instalado por el operador se ha realizado de manera correcta, sin ningún perjuicio para nuestra red existente.

#### 6.5.1. Drive test

Además de las medidas llevadas a cabo en los gestores, para asegurar que estas son correctas, se llevará a cabo una medida en campo con un scanner montado en un vehículo. Estas medidas serán capturadas por un ordenador, y después las volcaremos en un mapa y poder comprobar el funcionamiento de nuestro nodo.



*Figura 57. Scanner para la medida de estadísticas del nodo*

Fuera del vehículo, montaremos unas antenas conectadas al scanner, para que las medidas no se vean afectadas por la carrocería. Dependiendo del modelo de la antena y del scanner, será necesario tener una por tecnología, o se podrán realizar todas las medidas con la misma.



*Figura 58. Antena instalada en el vehículo que llevará a cabo las medidas*

Lo más importante que se debe revisar en los drive test, es que no haya sectores cruzados. Esto ocurre cuando la definición del sector, se asigna a un sistema radiante distinto al diseñado. Para la tecnología 2G, la definición del sector en el sistema radiante, se hace a nivel hardware, por lo que un error de este tipo conlleva o una visita a campo para hacer el cambio, o una redefinición de los sectores erróneos.

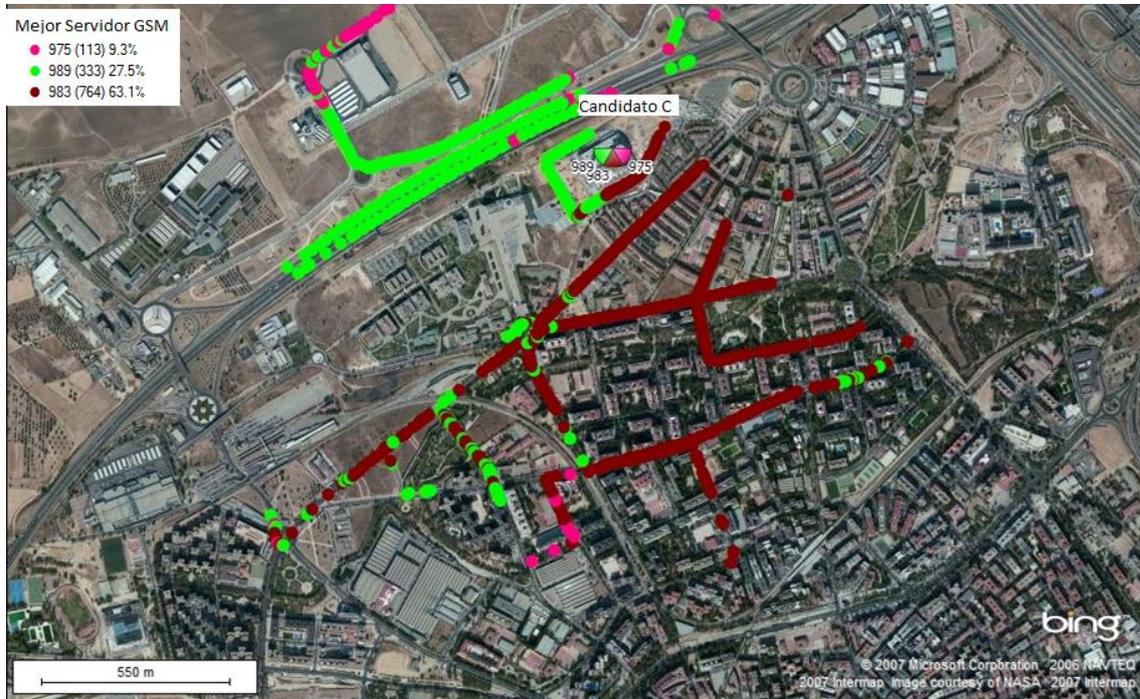


Figura 59. Medida de la orientación de los sectores 2G de nuestro nodo

Además de los BCCH, también medimos la potencia de recepción, haciendo medidas continuas según el vehículo recorre los alrededores del nodo.

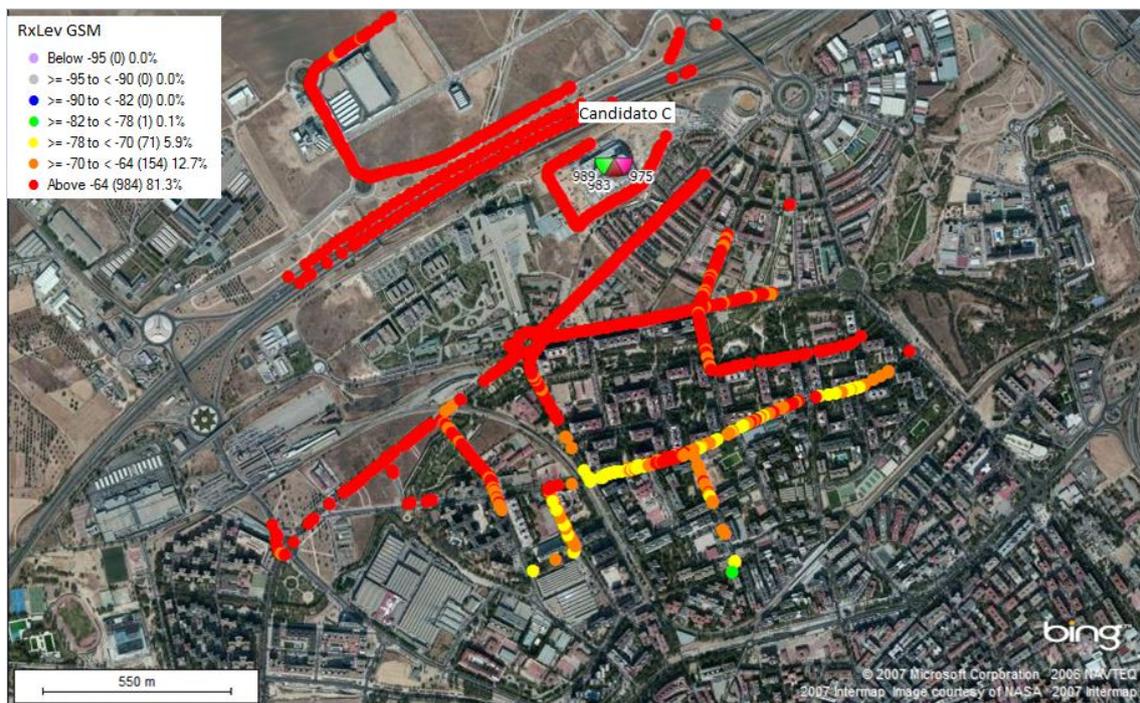


Figura 60. Medida de la potencia de recepción 2G de nuestro nodo

También comprobamos los sectores cruzados en la tecnología 3G, aunque en el caso igual que en el 4G ya no es crítico, ya que la definición se hace a nivel de software, y se puede asignar el sector al sistema radiante desde el gestor del vendedor.

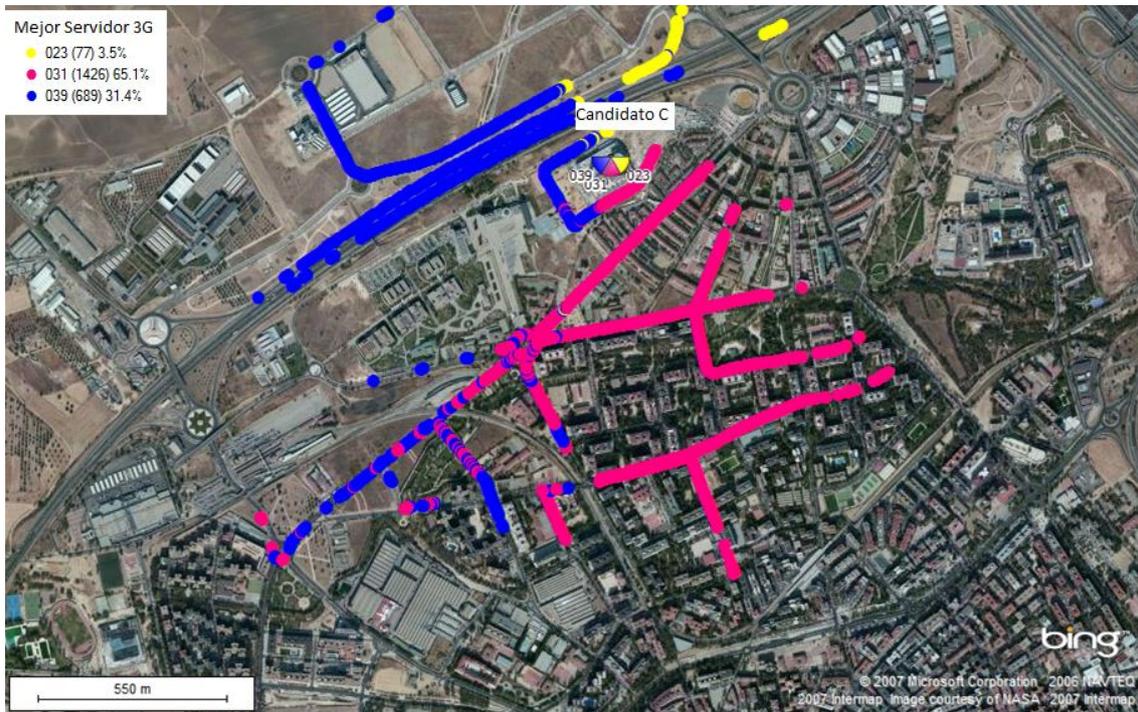


Figura 61. Medida de la orientación de los sectores 3G de nuestro nodo

En el caso del 3G, lo que medimos es la potencia de la señal de código recibida (medimos la potencia recibida de un scrambling code).

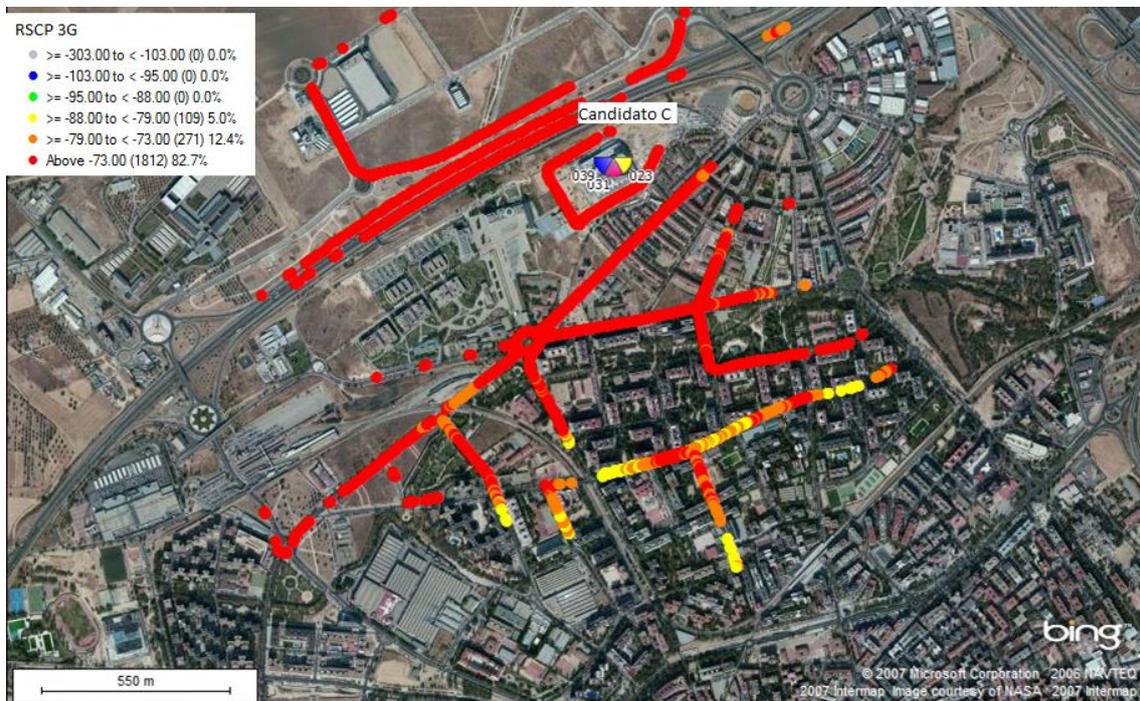


Figura 62. Medida de la potencia de código 3G de nuestro nodo

Podemos comprobar que el drive test ha arrojado los mismos resultados que las medidas de KPIs realizadas en la monitorización, y nuestro nodo funciona correctamente, además de tener sus sectores configurados en sus respectivos sistemas radiantes.

## 6.6. Optimización (optativo)

El operador nos pedirá que se cumplamos ciertos objetivos, a los que llamaremos KPIs (Key Performance Indicator). Si no cumplimos los objetivos de KPIs, será necesario llevar a cabo una serie de revisiones sobre el nodo. Algunas de las cosas que podremos hacer será:

- Modificación de la potencia.
- Modificación del tilt.
- Modificación de las orientaciones.
- Vecinas.

También es posible que algunos de los valores propios del diseño (BCCH, PSC, PCI, etc...) haya sido mal diseñado, y que esté provocando interferencias en los nodos vecinos. En este caso, se deberá llevar a cabo un rediseño.

También volveremos a comprobar la transmisión, por si alguno de los equipos podría tener alguna alarma de funcionamiento. Si el enrutamiento no dispusiera de ruta de protección, podría haber fallado alguna de las conexiones. Este puede ser algo puntual, o quizá se necesitará ir a comprobar el equipamiento.

El nodo deberá pararse, cambiarse el parámetro o equipo que esté mal, y actualizar todas las definiciones necesarias. Una vez hecho esto, el nodo se pondrá a radiar de nuevo, y volveremos al paso anterior de monitorización, esperando que no tengamos que volver a este.

## 6.7. Informe de aceptación

A lo largo de todo el proyecto, habremos enviado varias plantillas e informes con los trabajos que iremos realizando para cada parte por separado. Sin embargo, este será el último que enviaremos, donde dejaremos constancia de los estadísticos del nodo, y que se pueda comprobar que la nueva instalación no ha tenido una repercusión negativa en la red. Se adjuntarán las medidas de monitorización y las de drive test en este documento, donde el ingeniero encargado del proyecto, le dará la aprobación al trabajo realizado. Una vez enviado este documento al operador, nuestro trabajo de diseño habrá terminado.

## 7. Trabajos futuros

Estando hoy día instalando nodos 4G, llevando a cabo comparticiones de la red con otros operadores, quizá podamos pensar que este será un trabajo de muy largo plazo. Sin embargo, la realidad es bien distinta.

La instalación de nodos 4G se realiza de una manera mucho más rápida y sencilla que los despliegues de 2G y 3G, ya que como se ha comentado, la inteligencia de la red se deja a cargo de los propios nodos, y muchas de las tareas que antes se debían hacer manualmente, se hacen de manera automática en el equipo de núcleo MME, tal y como la definición de vecinas del entorno.

El Sharing también simplifica en cierta manera el diseño de los nodos, ya que cuando es nuestro nodo el que se instala en la red de otro operador, sólo tenemos que encargarnos del diseño radio, ya que el diseño de transmisión no lo realizaremos nosotros, sino el operador propietario de la red.

Por lo que el siguiente trabajo a gran escala que se realizará en las redes de los operadores, será la implantación de una nueva generación de tecnología radio, el 5G [14].

### 7.1. 5G

El 5G ha sido recientemente presentado en las grandes ferias de la telefonía móvil. Múltiples empresas están trabajando en esta tecnología, con la intención de ser la suya no norma de utilización en el futuro [15].

Se prevé que esta tecnología esté disponible en el 2020, ya que la estadística muestra que el aumento de dispositivos con conectividad inalámbrica irá creciendo exponencialmente hasta llegar a los 20,8 mil millones en esas fechas (frente a los 6,4 mil millones de hoy día).

Este aumento de dispositivos, dará como resultado un aumento de la demanda de capacidad en la red, y por lo tanto de la velocidad de conexión contra las estaciones base. Su banda de frecuencia estará en torno a los 6 GHz, por lo que su área de cobertura será muy baja, haciendo que el empleo de MIMO para aumentarla sea algo completamente necesario.

El LTE-Advanced alcanza una velocidad máxima de 1 Gbps, y se espera que el 5G alcance como mínimo los 10 Gbps. Algunas de las empresas que están llevando a cabo investigación en este terreno, son más optimistas, y esperan que se mejore entre un 100 y un 1000 la velocidad actual, cosa bastante complicada, pero sólo el tiempo lo dirá.

## Bibliografía

- [1] Bekkers, Rudi. "Mobile Telecommunications Standards: UMTS, GSM, TETRA and ERMES".
- [2] Aghvami y Groves. "UMTS/IMT 2000".
- [3] Punz, Gottfried. "Evolution of 3G Networks".
- [4] Rumney, Moray (Editor). "LTE and the Evolution to 4G Wireless".
- [5] Manuel Huidobro, José. "Comunicaciones móviles. Sistemas GSM, UMTS y LTE".
- [6] H. Technologies. RRU 3900 Installation Guide.
- [7] H. Technologies. BBU 3900 Installation Guide.
- [8] B. Wan. "Building efficient and profitable mbb networks. 2010".
- [9] Bloginnova Vodafone: <http://bloginnova.wordpress.com/2009/02/16/single-ran-el-sueno-de-un-operador-movil-ya-es-una-realidad/>.
- [10] 'Technical Paper' de Huawei: "Product Description Optix PTN 3900 1900 912".
- [11] Kasim, Abdul. "Delivering Carrier Ethernet. Extending Ethernet Beyond the LAN".
- [12] Charles E. Spurgeon. "Ethernet: The Definitive Guide"
- [13] "Metro Ethernet Forum (MEF) Technical Specification 4," Metro Ethernet Network Architecture Framework – Part I: Generic Framework, May 2004. [www.metroethernetforum.org](http://www.metroethernetforum.org).
- [14] <http://networks.nokia.com/innovation/5g>
- [15] <https://5g-ppp.eu/>

## Relación de figuras

Las figuras 1, 3, 4, 5 y 6 se han dibujado a partir de imágenes del libro "Comunicaciones móviles. Sistemas GSM, UMTS y LTE" de Manuel Huidobro, José.

La figura 7 es una antena de Alcatel-Lucent [<https://www.alcatel-lucent.com/products/alcatel-lucent-9926-enodeb>].

La figura 8 representa el diagrama horizontal de una antena hp [[www.hp.com/rnd/pdfs/antenna\\_tech\\_brief.pdf](http://www.hp.com/rnd/pdfs/antenna_tech_brief.pdf)].

Las figuras 11 y 12 son modelos de la compañía Huawei. [<http://e.huawei.com/en/products/wireless/elte-trunking/network-element/dbs3900>].

La figura 17 es una imagen extraída de documentación de Huawei [0\_Product Description Optix PTN 3900 1900 912].

Las figuras 18 y 19 son imágenes tomadas en la visita de campo del nuevo emplazamiento.

La figura 21 es una antena de Alcatel-Lucent [<https://www.alcatel-lucent.com/products/9500-microwave-packet-radio>]

Las figuras 22, 23 y 24 son equipos de Alcatel-Lucent extraída de documentación del vendor [1-OSA SCS HLD PMW Technology\_v11.1]

La figura 26 es un equipo de Alcatel-Lucent [<https://www.alcatel-lucent.com/products/9500-microwave-packet-radio>].

Las figuras 28, 29, 30 y 31 se han dibujado a partir de imágenes del libro “Delivering Carrier Ethernet. Extending Ethernet Beyond the LAN” de Kasim, Abdul.

Las figuras 51 y 52 son imágenes tomadas en la visita de campo para el diseño del radioenlace.

Las figuras 57 y 58 son imágenes tomadas para el informe de drive test.

Las figuras 59, 60, 61 y 62 son imágenes tomadas para las medidas de drive test.

## Anexo

### Presupuesto

Vamos a ver el presupuesto de un proyecto de este tipo, desglosando cada uno de sus costos.

#### Coste material

CONCEPTO	COSTE €	COMENTARIO
Ordenador HP Intel Core	800	por persona
Licencia Windows 7 Professional	150	por persona
Licencia Microsoft Office	75	por persona
Impresora	100	global
<b>TOTAL PARTIDA</b>	<b>1125</b>	

*Tabla 9. Coste material inicial*

Al coste total de los materiales hay que añadirle un coste de alquiler de oficina así como sus gastos asociados (luz, calefacción, aire acondicionado, servicio de limpieza, muebles de oficina y conexiones de red de banda ancha). Además, hay que añadir el coste de desplazamiento y comida.

CONCEPTO	COSTE €	COMENTARIO
Oficina	700	por mes
Desplazamiento	100	por mes
Comida	50	por mes
<b>TOTAL PARTIDA</b>	<b>850</b>	

*Tabla 10. Coste de oficina más extra de empleado*

El total del coste material será de 2000 € aproximadamente.

#### Gastos generales

Se establecerá un gasto general del 16% sobre el coste material, lo que nos dará aproximadamente 320 €.

#### Beneficio industrial

El beneficio industrial se establecerá en un 6% del coste material, lo que nos dará 120 € de manera aproximada.

## Coste de equipación

Debido a que en la realización de este proyecto, intervienen diferentes grupos, e incluso en algunos casos, diferentes empresas, intentaremos dar una aproximación lo más exacta posible al presupuesto empleado en un trabajo de este tipo.

Veremos diferentes presupuestos, dependiendo del tipo de equipo que sea necesario instalar:

CONCEPTO	COSTE €	COMENTARIO
ALQUILER DEL EMPLAZAMIENTO	4000	por año
VISITA TECNICOS DE CAMPO	120	por visita
DISEÑO RADIO	300	por diseño
DISEÑO TRANSMISIÓN	300	por diseño
NODO	18175	desglosado
CSG	10230	desglosado
<b>TOTAL PARTIDA</b>	<b>33125</b>	

Tabla 11. Coste de integración de un nodo con un equipo de fibra óptica CSG

CONCEPTO	COSTE €	COMENTARIO
ALQUILER DEL EMPLAZAMIENTO	4000	por año
VISITA TECNICOS DE CAMPO	120	por visita
DISEÑO RADIO	300	por diseño
DISEÑO TRANSMISIÓN	300	por diseño
NODO	18175	desglosado
POC	18390	desglosado
<b>TOTAL PARTIDA</b>	<b>41285</b>	

Tabla 12. Coste de integración de un nodo con un equipo de fibra óptica POC

CONCEPTO	COSTE €	COMENTARIO
ALQUILER DEL EMPLAZAMIENTO	4000	por año
VISITA TECNICOS DE CAMPO	120	por visita
DISEÑO RADIO	300	por diseño
DISEÑO TRANSMISIÓN	300	por diseño
NODO	18175	desglosado
POP	31310	desglosado
<b>TOTAL PARTIDA</b>	<b>54205</b>	

Tabla 13. Coste de integración de un nodo con un equipo de fibra óptica POP

CONCEPTO	COSTE €	COMENTARIO
ALQUILER DEL EMPLAZAMIENTO	4000	por año
VISITA TECNICOS DE CAMPO	120	por visita
DISEÑO RADIO	300	por diseño
DISEÑO TRANSMISIÓN	300	por diseño
NODO	18175	desglosado
PMW	9250	desglosado
<b>TOTAL PARTIDA</b>	<b>32145</b>	

Tabla 14. Coste de integración de un nodo con un equipo de fibra óptica PMW

NODO	UNIDADES	PRECIO UNIDAD	COSTE TOTAL
BASE STATION EQUIPMENT BBU	1	6000	6000
REMOTE RADIO UNIT RRU	2	800	1600
CONJ. TORNILLERIA LOGIC/NET (20 UNI)	1	10	10
UNIDAD VENT.TECHO LOGIC A800 F900 2V+T	1	250	250
PANEL PASACABLES 19" 1U LOGIC	2	15	30
TORRE TUBULAR AUTOSOPORTADA TRIANGULAR DE 30 MTS	1	2500	2500
INSTALACIÓN ELECTRICA GENERICA	1	1300	1300
PACK BATERÍAS 9120 1000 VA	1	275	275
ADD TRX GSM	4	380	1520
TARJETA GTMU	1	730	730
DC CABLE (100m) RRU	2	320	640
CABLE (50m) ANDREW	1	320	320
MÓDULO DE ALIMENTACIÓN UPEU	1	350	350
MÓDULO USCU	1	240	240
MÓDULO UBRI BANDA BASE	1	385	385
UNIDAD DE VENTILACIÓN UBFA	1	175	175
DIRECT LINK RRU-01 OPTO CABLE 20m	2	60	120
OPTICAL TRANSCEIVER/TRX	2	40	80
ANTENA CROSS POLAR DUAL	2	500	1000
ANTENA RADIOENLACE ANDREW CORPORATION	1	650	650
<b>TOTAL PARTIDA</b>			<b>18175</b>

Tabla 15. Desglose del coste de un nodo

CSG	UNIDADES	PRECIO UNIDAD	COSTE TOTAL
BASTIDOR	1	6000	6000
HIGH IDU	1	3000	3000
TARJETAS DE CONEXIÓN	1	300	300
TARJETAS DE CONTROL DEL SISTEMA, PARA SINCRONIZACIÓN, SWITCHING Y PUERTOS DE SERVICIO INTEGRADOS	1	450	450
TARJETA DE ALIMENTACIÓN	2	240	480
<b>TOTAL PARTIDA</b>			<b>10230</b>

Tabla 16. Desglose de un equipo CSG

POC	UNIDADES	PRECIO UNIDAD	COSTE TOTAL
BASTIDOR	1	10000	10000
HIGH IDU	2	3000	6000
TARJETAS DE CONEXIÓN	1	300	300
TARJETAS DE CONTROL DEL SISTEMA, PARA SINCRONIZACIÓN, SWITCHING Y PUERTOS DE SERVICIO INTEGRADOS	1	450	450
TARJETAS DE PROTECCIÓN 1+1	1	200	200
TARJETA DE ALIMENTACIÓN	6	240	1440
<b>TOTAL PARTIDA</b>			<b>18390</b>

Tabla 17. Desglose de un equipo POC

POP	UNIDADES	PRECIO UNIDAD	COSTE TOTAL
BASTIDOR	1	12000	12000
HIGH IDU	5	3000	15000
TARJETAS DE CONEXIÓN	1	300	300
TARJETAS DE CONTROL DEL SISTEMA, PARA SINCRONIZACIÓN, SWITCHING Y PUERTOS DE SERVICIO INTEGRADOS	1	450	450
TARJETAS DE PROTECCIÓN 1+1	1	200	200
TARJETA DE ALIMENTACIÓN	14	240	3360
<b>TOTAL PARTIDA</b>			<b>31310</b>

Tabla 18. Desglose de un equipo POP

PMW	UNIDADES	PRECIO UNIDAD	COSTE TOTAL
MSS-4	1	4500	4500
MPT	1	2200	2200
ANTENA	2	1200	2400
GUÍA DE ONDAS FLEXIBLE	1	150	150
<b>TOTAL PARTIDA</b>			9250

Tabla 19. Desglose de un equipo PMW

### Honorarios proyecto

En los honorarios del proyecto, tendremos en cuenta los gastos de personal para estos trabajos.

### Coste de personal

En un proyecto de esta índole, intervendrán un mínimo de 4 grupos de trabajo:

1. Los técnicos de campo, que se encargarán de los trabajos previos, medidas de drive test, e instalación de los equipos.
2. Los diseñadores de radio.
3. Los diseñadores de transmisión.
4. Los ingenieros de First Tuning, que se encargarán de la monitorización de la red una vez el nodo se ponga a radiar.

El coste del primer grupo, se añadirá al coste de la equipación. Los otros tres grupos, supondrán que habrá un ingeniero especializado trabajando en cada integración, por lo que la estimación será de unos 25000 € brutos anuales. Lo que será aproximadamente 2000 € por mes por cada uno.

### Coste de dirección

De forma general, el salario medio de un jefe de proyecto se estima como el 7% de la suma del coste material más el coste de personal. Si se considera a una única persona como representante de la dirección del proyecto, el coste estimado de la dirección asciende aproximadamente a 570 € mes.

Dejando de lado el coste de equipación, ya que dependerá de cada caso, el coste fijo será:

CONCEPTO	COSTE €	COMENTARIO
Coste material	1325	coste inicial
Coste oficina	850	mes
Coste personal	6000	mes
Coste dirección	570	mes
<b>TOTAL PARTIDA</b>	8745	

Tabla 19. Coste total del inicio de un proyecto

Teniendo en cuenta que a la semana se pueden hacer 3 integraciones de principio a fin, nos da una media de 12 integraciones por mes, por lo que cada integración tendrá un coste total aproximado de 720 €.

Este es el coste que se deberá sumar al equipamiento en cada uno de los casos.

### Material fungible

Entenderemos por material fungible aquel que se consume con el uso, donde tendremos un gasto de:

CONCEPTO	COSTE €	COMENTARIO
Tinta	50	global
Gasto de oficina	50	global
Material bibliográfico	100	global
<b>TOTAL PARTIDA</b>	<b>200</b>	

Tabla 20. Coste de material fungible

### Subtotal del presupuesto

El subtotal dependerá del equipo que se instale, lo que nos da los siguientes casos:

CONCEPTO	COSTE €
Instalación de CSG	36460
Instalación de POC	44620
Instalación de POP	57540
Instalación de PMW	35480

Tabla 21. Subtotales de presupuesto, dependiendo del equipo a instalar

### I.V.A aplicable

Se aplicará un I.V.A del 16% en estos trabajos.

CONCEPTO	COSTE €
I.V.A CSG	5835
I.V.A POC	7140
I.V.A POP	9200
I.V.A PMW	5680

Tabla 22. Gasto en I.V.A dependiendo del equipo a instalar

### Total presupuesto

El total de presupuesto dependiendo del caso, serán los siguientes:

CONCEPTO	COSTE €
Instalación de CSG	42295
Instalación de POC	51760
Instalación de POP	66740
Instalación de PMW	41160

Tabla 23. Presupuesto total dependiendo del equipo que se decida instalar

Se tendrá en cuenta que la operadora asumirá los costes asociados a:

- Las medidas de seguridad según los reglamentos vigentes de seguridad e higiene y cualquier otra normativa local o autonómica, y en sentido amplio todos los acuerdos o preparaciones necesarias para la ejecución de las obras bajo las mejores circunstancias y en la forma apropiada.
- La gestión y tramitación de las licencias necesarias para el despliegue en el emplazamiento en cuestión.

Madrid, Julio de 2016

El Ingeniero Jefe de Proyecto

Fdo.: David Vaillant Canelada

Ingeniero de Telecomunicación

## Pliego de condiciones

Este documento contiene las condiciones legales que guiarán la realización, en este proyecto, de la integración de un nuevo nodo en la red de acceso móvil mediante solución FTTN FULL-IP. En lo que sigue, se supondrá que el proyecto ha sido encargado por una empresa cliente a una empresa consultora con la finalidad de realizar dicho sistema. Dicha empresa ha debido desarrollar una línea de investigación con objeto de elaborar el proyecto. Esta línea de investigación, junto con la posterior documentación está amparada por las condiciones particulares del siguiente pliego.

Supuesto que la utilización industrial de los métodos recogidos en el presente proyecto ha sido decidida por parte de la empresa cliente o de otras, la obra a realizar se regulará por las siguientes:

### Condiciones generales

1. La modalidad de contratación será el concurso. La adjudicación se hará, por tanto, a la proposición más favorable sin atender exclusivamente al valor económico, dependiendo de las mayores garantías ofrecidas. La empresa que somete el proyecto a concurso se reserva el derecho a declararlo desierto.
2. El montaje y mecanización completa de los equipos que intervengan será realizado totalmente por la empresa licitadora.
3. En la oferta, se hará constar el precio total por el que se compromete a realizar la obra y el tanto por ciento de baja que supone este precio en relación con un importe límite si este se hubiera fijado.
4. La obra se realizará bajo la dirección técnica de un Ingeniero Superior de Telecomunicación, auxiliado por el número de Ingenieros Técnicos y Programadores que se estime preciso para el desarrollo de la misma.
5. Aparte del Ingeniero Director, el contratista tendrá derecho a contratar al resto del personal, pudiendo ceder esta prerrogativa a favor del Ingeniero Director, quien no estará obligado a aceptarla.
6. El contratista tiene derecho a sacar copias a su costa de los planos, pliego de condiciones y presupuestos. El Ingeniero autor del proyecto autorizará con su firma las copias solicitadas por el contratista después de confrontarlas.
7. Se abonará al contratista la obra que realmente ejecute con sujeción al proyecto que sirvió de base para la contratación, a las modificaciones autorizadas por la superioridad o a las órdenes que con arreglo a sus facultades le hayan comunicado por escrito al Ingeniero Director de obras siempre que dicha obra se haya ajustado a los preceptos de los pliegos de condiciones, con arreglo a los cuales, se harán las modificaciones y la valoración de las diversas unidades sin que el importe total pueda exceder de los presupuestos aprobados. Por consiguiente, el número de unidades que se consignan en el proyecto o en el presupuesto, no podrá servirle de fundamento para entablar reclamaciones de ninguna clase, salvo en los casos de rescisión.
8. Tanto en las certificaciones de obras como en la liquidación final, se abonarán los trabajos realizados por el contratista a los precios de ejecución material que figuran en el presupuesto para cada unidad de la obra.
9. Si excepcionalmente se hubiera ejecutado algún trabajo que no se ajustase a las condiciones de la contrata pero que sin embargo es admisible a juicio del Ingeniero

Director de obras, se dará conocimiento a la Dirección, proponiendo a la vez la rebaja de precios que el Ingeniero estime justa y si la Dirección resolviera aceptar la obra, quedará el contratista obligado a conformarse con la rebaja acordada.

10. Cuando se juzgue necesario emplear materiales o ejecutar obras que no figuren en el presupuesto de la contrata, se evaluará su importe a los precios asignados a otras obras o materiales análogos si los hubiere y cuando no, se discutirán entre el Ingeniero Director y el contratista, sometiéndolos a la aprobación de la Dirección. Los nuevos precios convenidos por uno u otro procedimiento, se sujetarán siempre al establecido en el punto anterior.
11. Cuando el contratista, con autorización del Ingeniero Director de obras, emplee materiales de calidad más elevada o de mayores dimensiones de lo estipulado en el proyecto, o sustituya una clase de fabricación por otra que tenga asignado mayor precio o ejecute con mayores dimensiones cualquier otra parte de las obras, o en general, introduzca en ellas cualquier modificación que sea beneficiosa a juicio del Ingeniero Director de obras, no tendrá derecho sin embargo, sino a lo que le correspondería si hubiera realizado la obra con estricta sujeción a lo proyectado y contratado.
12. Las cantidades calculadas para obras accesorias, aunque figuren por partida alzada en el presupuesto final (general), no serán abonadas sino a los precios de la contrata, según las condiciones de la misma y los proyectos particulares que para ellas se formen, o en su defecto, por lo que resulte de su medición final.
13. El contratista queda obligado a abonar al Ingeniero autor del proyecto y director de obras así como a los Ingenieros Técnicos, el importe de sus respectivos honorarios facultativos por formación del proyecto, dirección técnica y administración en su caso, con arreglo a las tarifas y honorarios vigentes.
14. Concluida la ejecución de la obra, será reconocida por el Ingeniero Director que a tal efecto designe la empresa.
15. La garantía definitiva será del 4% del presupuesto y la provisional del 2%.
16. La forma de pago será por certificaciones mensuales de la obra ejecutada, de acuerdo con los precios del presupuesto, deducida la baja si la hubiera.
17. La fecha de comienzo de las obras será a partir de los 15 días naturales del replanteo oficial de las mismas y la definitiva, al año de haber ejecutado la provisional, procediéndose si no existe reclamación alguna, a la reclamación de la fianza.
18. Si el contratista al efectuar el replanteo, observase algún error en el proyecto, deberá comunicarlo en el plazo de quince días al Ingeniero Director de obras, pues transcurrido ese plazo será responsable de la exactitud del proyecto.
19. El contratista está obligado a designar una persona responsable que se entenderá con el Ingeniero Director de obras, o con el delegado que éste designe, para todo relacionado con ella. Al ser el Ingeniero Director de obras el que interpreta el proyecto, el contratista deberá consultarle cualquier duda que surja en su realización.
20. Durante la realización de la obra, se girarán visitas de inspección por personal facultativo de la empresa cliente, para hacer las comprobaciones que se crean oportunas. Es obligación del contratista, la conservación de la obra ya ejecutada hasta la recepción de la misma, por lo que el deterioro parcial o total de ella, aunque sea por agentes atmosféricos u otras causas, deberá ser reparado o reconstruido por su cuenta.

21. El contratista, deberá realizar la obra en el plazo mencionado a partir de la fecha del contrato, incurriendo en multa, por retraso de la ejecución siempre que éste no sea debido a causas de fuerza mayor. A la terminación de la obra, se hará una recepción provisional previo reconocimiento y examen por la dirección técnica, el depositario de efectos, el interventor y el jefe de servicio o un representante, estampando su conformidad el contratista.
22. Hecha la recepción provisional, se certificará al contratista el resto de la obra, reservándose la administración el importe de los gastos de conservación de la misma hasta su recepción definitiva y la fianza durante el tiempo señalado como plazo de garantía. La recepción definitiva se hará en las mismas condiciones que la provisional, extendiéndose el acta correspondiente. El Director Técnico propondrá a la Junta Económica la devolución de la fianza al contratista de acuerdo con las condiciones económicas legales establecidas.
23. Las tarifas para la determinación de honorarios, reguladas por orden de la Presidencia del Gobierno el 19 de Octubre de 1961, se aplicarán sobre el denominado en la actualidad "Presupuesto de Ejecución de Contrata" y anteriormente llamado "Presupuesto de Ejecución Material" que hoy designa otro concepto.

### Condiciones particulares

La empresa consultora, que ha desarrollado el presente proyecto, lo entregará a la empresa cliente bajo las condiciones generales ya formuladas, debiendo añadirse las siguientes condiciones particulares:

1. La propiedad intelectual de los procesos descritos y analizados en el presente trabajo, pertenece por entero a la empresa consultora representada por el Ingeniero Director del Proyecto.
2. La empresa consultora se reserva el derecho a la utilización total o parcial de los resultados de la investigación realizada para desarrollar el siguiente proyecto, bien para su publicación o bien para su uso en trabajos o proyectos posteriores, para la misma empresa cliente o para otra.
3. Cualquier tipo de reproducción aparte de las reseñadas en las condiciones generales, bien sea para uso particular de la empresa cliente, o para cualquier otra aplicación, contará con autorización expresa y por escrito del Ingeniero Director del Proyecto, que actuará en representación de la empresa consultora.
4. En la autorización se ha de hacer constar la aplicación a que se destinan sus reproducciones así como su cantidad.
5. En todas las reproducciones se indicará su procedencia, explicitando el nombre del proyecto, nombre del Ingeniero Director y de la empresa consultora.
6. Si el proyecto pasa la etapa de desarrollo, cualquier modificación que se realice sobre él, deberá ser notificada al Ingeniero Director del Proyecto y a criterio de éste, la empresa consultora decidirá aceptar o no la modificación propuesta.
7. Si la modificación se acepta, la empresa consultora se hará responsable al mismo nivel que el proyecto inicial del que resulta el añadirla.
8. Si la modificación no es aceptada, por el contrario, la empresa consultora declinará toda responsabilidad que se derive de la aplicación o influencia de la misma.

9. Si la empresa cliente decide desarrollar industrialmente uno o varios productos en los que resulte parcial o totalmente aplicable el estudio de este proyecto, deberá comunicarlo a la empresa consultora.
10. La empresa consultora tendrá prioridad respecto a otras en la elaboración de los proyectos auxiliares que fuese necesario desarrollar para dicha aplicación industrial, siempre que no haga explícita renuncia a este hecho. En este caso, deberá autorizar expresamente los proyectos presentados por otros.
11. El Ingeniero Director del presente proyecto, será el responsable de la dirección de la aplicación industrial siempre que la empresa consultora lo estime oportuno. En caso contrario, la persona designada deberá contar con la autorización del mismo, quien delegará en él las responsabilidades que ostente.