



Trabajo Fin de Grado

## **Revisión, modernización y análisis de la red de planta externa en Vodafone España.**



AUTOR: Daniel Martínez Guantes

TUTOR: Juan Blas

Junio 2018

TÍTULO:	Revisión, modernización y análisis de la red de planta externa en Vodafone España.
AUTOR:	Daniel Martínez Guantes
TUTOR:	Juan Blas Prieto
DEPARTAMENTO:	Teoría de la Señal y Comunicaciones e Ingeniería Telemática

## TRIBUNAL

PRESIDENTE:	Dr. Evaristo José Abril Domingo
VOCAL:	Dr. Ramón de la Rosa Steinz
SECRETARIO:	Dr. Juan Blas Prieto
SUPLENTE:	Dr. Jaime Gómez Gil
SUPLENTE:	Dr. J Carlos Aguado Manzano
FECHA:	5 de julio de 2018

CALIFICACIÓN:	
---------------	--

## **Resumen del proyecto**

En la actualidad disfrutamos de redes internacionales de conexión a internet con miles de millones de equipos conectados. Esta situación sin precedentes nos ofrece nuevos servicios y maneras de trabajo.

El crecimiento de estas tecnologías es de carácter exponencial y exige un despliegue y actualización de la red con una previsión meticulosa y exhaustiva de las necesidades de los consumidores.

Estas mejoras se hacen a través de ampliación de enlaces, despliegue de nuevos, cambios a tecnologías más eficientes o modernización de protocolos. Una de estas modernizaciones es la actualización de las redes de cable HFC del estándar DOCSIS 3.0 a DOCSIS 3.1. De esta manera se busca satisfacer las necesidades del consumidor sin asumir la inversión que implicaría un cambio completo de la red a fibra óptica.

Mientras se llevan a cabo estas operaciones debemos ser conscientes del aspecto dinámico de la red y las necesidades de mantenimiento que requiere. Para ello analizamos los principales parámetros técnicos, llamados KPIs, que impactan al cliente final.

Este proyecto se ha llevado a cabo durante mi estancia en la empresa Vodafone como parte del equipo de optimización de red fija de zona 6.

## **Abstract**

We currently enjoy international internet connection networks with billions of connected devices. This unprecedented situation offers us new services and ways of working.

The growth of these technologies is exponential and requires a deployment and updating of the network with a meticulous and exhaustive forecast of consumers' needs.

These improvements are made through the extension of links, the deployment of new ones, changes to more efficient technologies or the modernization of protocols, such as the upgrade of HFC cable networks from DOCSIS 3.0 standard to DOCSIS 3.1. In this way we seek to meet the needs of the consumer without assuming the investment that would imply a complete fiber optic network renewal.

While carrying out these operations we must be aware of the network maintenance needs that it requires. For this we analyze the main technical parameters, called KPIs, that impact the final client.

This project was carried out during my stay in the company Vodafone as a fellow of the fixed network optimization department of zone 6.

## **AGRADECIMIENTOS:**

A mis padres y compañeros,  
con mención especial a su paciencia.

## Índice

1. INTRODUCCIÓN:	9
1.1 PRIMEROS PASOS DE LA TELECOMUNICACIÓN:	9
1.1.1 ORÍGENES:	9
1.1.2 La llegada de la electricidad.	12
1.1.3 Cables submarinos	15
1.1.4 De telegrafía a telefonía	18
1.1.5 Nacimiento de la telefonía y redes precursoras a Internet	20
1.1.6 Internet	22
1.2 REDES DE COMUNICACIONES FIJAS	23
1.2.1 Redes de banda ancha	24
1.2.2 Redes ópticas pasivas	27
1.3 Historia de Vodafone	30
1.3.1 Vodafone España	30
1.4 Arquitectura de red	31
1.4.1 Red DWDM	35
1.4.2 Red SDH	36
1.4.3 Arquitectura de servicios de cliente	39
1.4.4 Elementos y características red HFC	40
2. KPIs	42
2.1 PTx	43
2.1.1 Thot	45
2.2 DSSNR	48
2.2.1 Fuentes de Ruido	52
2.3 SNRup	54
2.3.1 FEC ascendente	56
2.3.2 SAMIR	60
2.4 Flaps	61
2.5 Otros parámetros y herramientas	63
2.5.1 Pathtrack	63
2.5.2 GIS	66
2.5.3 MAPs2U	68
2.5.4 Zhilabs	69
3. Recombinaciones	71
3.1 Orizone: monitorización del tráfico.	71

4.	Migración de DOCSIS: de 3.0 a 3.1 .....	75
4.1	Versiones del estándar.....	75
4.2	Arquitectura DOCSIS 3.0 .....	76
4.3	DOCSIS 3.0 vs DOCSIS 3.1 .....	78
4.4	Migración: cambios necesarios.....	81
4.5	Estructura tras la migración.....	83
4.6	Próximos pasos.....	84
5.	Conclusiones .....	85
6.	Bibliografía .....	86

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1:	telégrafo primitivo .....	11
Ilustración 2:	Telégrafo Chappe .....	12
Ilustración 3:	Aparato Wheatstone de una aguja .....	13
Ilustración 4:	Telégrafo Morse .....	14
Ilustración 5:	primer cable trasatlántico operativo .....	15
Ilustración 6:	Cable trasatlántico de costa .....	17
Ilustración 7:	Receptor de fonotelegrafía. ....	18
Ilustración 8:	Micrófono de carbón .....	19
Ilustración 9:	Transposiciones.....	21
Ilustración 10:	Red telefónica jerárquica.....	23
Ilustración 11:	Alternativas de acceso.....	24
Ilustración 12:	Conexión ADSL .....	26
Ilustración 13:	Funcionamiento del splitter .....	26
Ilustración 14:	fibra aérea .....	27
Ilustración 15:	APON sobre arquitectura FTTx.....	28
Ilustración 16:	atenuación fibra óptica según longitud de onda.....	29
Ilustración 17:	APON para FTTH .....	29
Ilustración 18:	Servicios de red fija .....	31
Ilustración 19:	elementos y jerarquía de red fija.....	32
Ilustración 20:	elementos y jerarquía de red móvil.....	34
Ilustración 21:	Red troncal SDH .....	36
Ilustración 22:	red regional (nivel 1) .....	37
Ilustración 23:	red regional (nivel 2) .....	38
Ilustración 24:	MS-SPRing .....	38
Ilustración 25:	estructura acceso SDH .....	39
Ilustración 26:	estructura servicios red fija.....	39
Ilustración 27:	VoD sin catch-up .....	40
Ilustración 28:	pre ecualización .....	41
Ilustración 29:	tipos de cable utilizados. ....	41
Ilustración 30:	ejemplo mapa de calor KPIs .....	42
Ilustración 31:	Flujo de acción.....	43
Ilustración 32:	herramienta de consulta Thot .....	45

Ilustración 33: distribución PTx .....	47
Ilustración 34: taps que requieren ajuste .....	48
Ilustración 35: tipos de modulación .....	49
Ilustración 36: BER para distintas modulaciones .....	49
Ilustración 37: espectro señal descendente .....	50
Ilustración 38: Nodo con amplificador caído .....	51
Ilustración 39: distribución SNR por canales del EQAM .....	52
Ilustración 40: Figura de ruido ingress .....	53
Ilustración 41: Taps y conectores .....	53
Ilustración 42: prueba limpieza de TAPs .....	54
Ilustración 43: mínimo SNR en los canales de upstream de un nodo .....	57
Ilustración 44: FEC corregidos .....	58
Ilustración 45: FEC incorregibles .....	58
Ilustración 46: SNR óptima de un nodo .....	58
Ilustración 47: informe GIRO .....	59
Ilustración 48: selección de nodo en PathTrak .....	63
Ilustración 49: espectro completo de PathTrak .....	64
Ilustración 50: detalle de la primera portadora en PathTrak .....	64
Ilustración 51: detalle opciones PathTrak .....	65
Ilustración 52: consulta de nodo en GIS .....	66
Ilustración 53: opciones de visualización GIS .....	66
Ilustración 54: sección de nodo terminal en GIS .....	67
Ilustración 55: esquema simplificado red HFC nodo .....	68
Ilustración 56: opciones de visualización de MAPs2U .....	68
Ilustración 57: huella de nodo terminal en MAPs2U .....	69
Ilustración 58: Latencia en FTTH por provincias .....	70
Ilustración 59: pérdida de paquetes FTTH por provincias .....	70
Ilustración 60: evolución de la velocidad de conexión media en España .....	71
Ilustración 61: pantalla de inicio de Orizone .....	72
Ilustración 62: Tráfico agregado de todos los enlaces de una CMTS .....	73
Ilustración 63: gráfica de ocupación de enlaces individuales .....	73
Ilustración 64: combinación de señal narrowcast para grupos de inserción .....	74
Ilustración 65: estándares DOCSIS .....	76
Ilustración 66: sistema DOCSIS .....	76
Ilustración 67: red sobre DOCSIS 3.0 .....	77
Ilustración 68: Evolución del espectro DOCSIS .....	78
Ilustración 69: comparación canales individuales 3.0 vs 3.1 .....	78
Ilustración 70: implementación del nuevo rango espectral .....	80
Ilustración 71: red sobre DOCSIS 3.1 .....	82
Ilustración 72: cambios en la migración .....	83

## Índice de tablas

Tabla 1: comparativa tecnologías xDSL .....	25
Tabla 2: homólogos red móvil – fija .....	34
Tabla 3: tipo de enlace y capacidad asociada .....	36
Tabla 4: Afección KPIs .....	62
Tabla 5: resumen versiones DOCSIS.....	75
Tabla 6: comparativa parámetros modulación DOCSIS 3.0 vs DOCSIS 3.1 .....	79
Tabla 7: velocidades y frecuencias DOCSIS 3.0 vs 3.1 .....	80
Tabla 8: modulación y capacidad según SNR en DOCSIS 3.1.....	84

## 1. INTRODUCCIÓN:

El objetivo de este trabajo de fin de grado es hacer un análisis de la revisión y actualización de una red de telecomunicaciones de gran infraestructura como es la red de Vodafone en nuestro país y más particularmente en la zona que comprende Castilla y León, Cantabria, La Rioja y Navarra. Cada zona tiene particularidades como su topología y diseño, clima al que se encuentra expuesta, densidad y cantidad de usuarios... Estas diferencias exigen un trato adecuado y coherente con sus condiciones. Dentro de la empresa contamos con numerosas herramientas que facilitan el análisis, monitorización, simulación y despliegue de distintos parámetros de la red. Primero llevaré a cabo una breve contextualización histórica de las telecomunicaciones, de las características básicas del tipo de redes sobre las que se desarrolla el trabajo y de la empresa, Vodafone, en la que realizo estos trabajos.

### 1.1 PRIMEROS PASOS DE LA TELECOMUNICACIÓN:

#### 1.1.1 ORÍGENES:

Los seres humanos se han comunicado de manera primitiva y probablemente instintiva a distancia. El envío de información relevante con señas, movimientos de brazos, o señales de humo y banderas en caso de estar más lejos, se remonta al principio de los tiempos.

Los griegos disponían de varios sistemas para estos menesteres. Se dice que Agamenón ordenó poner pilas de leña sobre los cerros de Troya que se veían desde Micenas para anunciar a Clitemnestra (esposa de Agamenón y reina de Micenas) la victoria sobre los troyanos.

En Atenas se enseña a los turistas el lugar donde se produjo el primer error telegráfico. Teseo, al partir hacia Creta para pagar

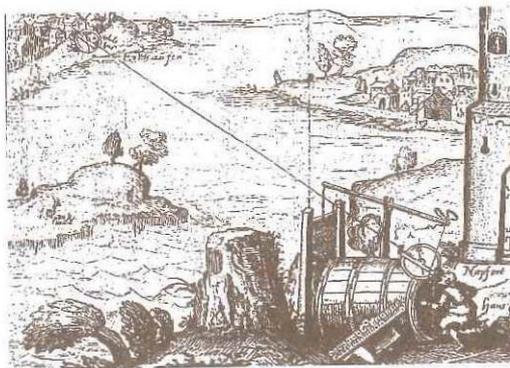
tributo a Minos, había acordado con su padre Egeo que pondría a su nave velas negras si había perdido ante el Minotauro y velas blancas en caso de vuelta victoriosa. Con la alegría del triunfo olvidó este código y regresó con las velas negras. Su padre, al verlo, se suicidó lanzándose al mar. Un error fatal en la transmisión de la señal.

Los galos, según César, daban gritos desde los cerros para transmitir el mensaje rápidamente, pero sin ningún tipo de confidencialidad. Lejos de Europa se sabe que los Incas recibían en Cuzco las nuevas de otros confines de su imperio con gran maestría por medio de las señas de humo.

En España, durante la edad media, moros y cristianos tuvieron sus respectivos sistemas de envío de noticias. Normalmente se trataba de sistemas de fuegos y humos que avisaban de algún hecho esperado. Un extracto de Góngora resume bien la ligera capilarización de las comunicaciones de su época:

*“las adargas avisaron  
a las mudas atalayas,  
las atalayas a los fuegos,  
los fuegos a las campanas...”*

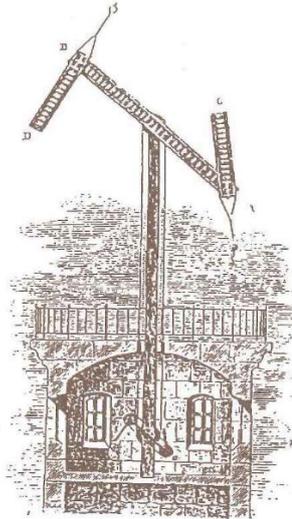
Estos sistemas de comunicación no pueden etiquetarse de telegráficos, ya que las noticias tenían que ser sobre noticias previamente convenidas y no sobre un lenguaje articulado. Un grabado de 1616 de Franz Kessler muestra un telégrafo que podía enviar letras. Una llama en un barril se dejaba ver levantando la tapa el número de veces igual a la posición de la letra deseada (1). No era muy eficiente en uso del tiempo, pero ya podía enviar mensajes.



*Ilustración 1: telégrafo primitivo*

El ritmo impuesto por el maquinismo y capitalismo nacientes pedían un ritmo más rápido en las comunicaciones entre lugares distantes. Aparecieron trenes y barcos a vapor para recorrer estas distancias, por motivos económicos y también científicos. Los anteojos facilitaron la transmisión de símbolos complejos a distancia, más allá del rudimentario fuego.

El telégrafo apareció en Francia en 1793, utilizando un sistema de Torres ideado por Claudio Chappe. Estos telégrafos se situaban en edificios relevantes y con buena visibilidad dentro de las ciudades. Formados por un mástil, que tenía en su parte posterior un travesaño que podía girar sobre su eje central controlado por una polea. El regulador tenía otros dos travesaños menores que también podían girar de la misma manera. Las diferentes posiciones indicaban diferentes símbolos, y para evitar confusiones entre éstos, Chappe redujo las variaciones de ángulos a un mínimo de 45°. Este telégrafo ofrecía 98 combinaciones y se estandarizó su uso con un diccionario de 92 páginas con 92 frases cada una. De esta manera y con solo dos símbolos podía transmitir 8464 expresiones.



*Ilustración 2: Telégrafo Chappe*

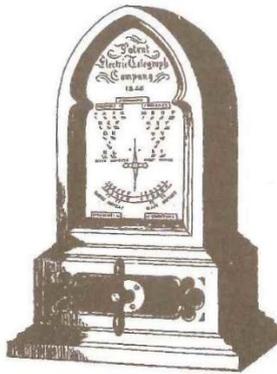
Después de este invento aparecieron sistemas similares en Europa y España, con sus propias redes de comunicación. Pero hubo que esperar algo más para la siguiente revolución de las comunicaciones. (2)

### 1.1.2 La llegada de la electricidad.

Francisco Salvá y Campillo era un médico de Barcelona, prototipo de hombre ilustrado con curiosidad y conocimiento que abarcaban todos los ámbitos de la ciencia. En 1975 presenta a la Academia de Ciencias de Barcelona su memoria “La electricidad aplicada a la telegrafía”, donde propone establecer un enlace entre Barcelona y Mataró conectando 22 botellas de Leyden y 22 hombres, que tendrían una letra asignada. (1)

El siguiente paso relevante en esta dirección lo dio William Fothergill Cooke, asociado con Charles Wheatstone, profesor de Física de Kings College de Londres, que inventó y patentó un telégrafo que, utilizando cinco conductores y cinco agujas imantadas podía transmitir cualquier mensaje, empleando 20 letras. La letra transmitida estaba definida por la intersección de las 2 agujas que se movían. (3)

Sin embargo, el primer telégrafo utilizado fue uno de una sola aguja con funcionamiento idéntico. Un simple galvanómetro y una aguja indicando el paso de la corriente y el sentido, desplazándose a derecha o izquierda. El transmisor era una manivela que podía enviar corriente positiva o negativa dependiendo de su giro.



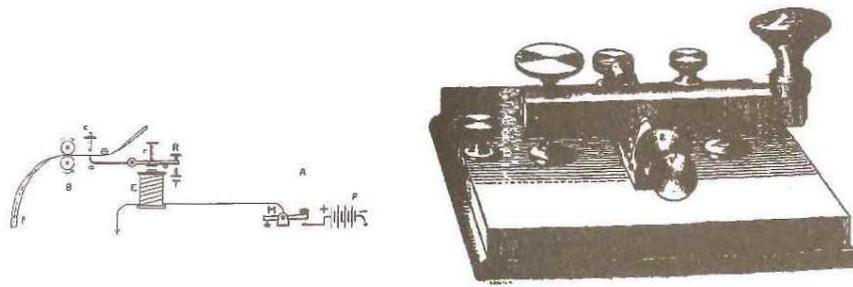
*Ilustración 3: Aparato Wheatstone de una aguja*

Este aparato llevaba grabado el código asociado a cada letra, con un máximo de 4 impulsos. Por ejemplo: a: ++; b: - - + -; c: + - - ...

Hubo varias versiones de este aparato en distintos países con pequeñas mejoras y peculiaridades. Después llegó el código Morse.

Samuel Morse, pintor, se interesó por electroimanes en 1832 y estuvo trabajando en prototipos durante años hasta que consiguió que el Congreso de Estados Unidos le concediera crédito para establecer una línea entre Washington y Baltimore, que se inauguró en 1845.

El circuito empleado es muy simple. El emisor es una palanca que cierra este circuito para establecer la comunicación mediante dos tipos de señales: largas y cortas. Este código fue la aportación más importante que hubo en el campo telegráfico en muchos años y se adaptó con facilidad a las siguientes etapas tecnológicas.



*Ilustración 4: Telégrafo Morse*

Con la llegada de este nuevo estándar se constituyó una red telegráfica mundial. Las líneas de telegrafía fueron todas nacionales y, aunque pasaban noticias de un país al otro, no llegaron a constituir una red internacional. Además, cada país tenía su propio sistema que era considerado como un secreto a guardar y que exigía la traducción del mensaje en las fronteras, añadiendo un retraso en la retransmisión del mensaje. La red que se pretendía construir sería punto a punto entre ciudades, pero pronto se convirtió en inviable. Se organizaron centros colectores conectados entre sí para concentrar los mensajes, en los que aparecieron rudimentarios conmutadores. Se desarrollaron pilas de muchos tipos para tener generadores operativos en cualquier parte, y cuyo funcionamiento ha permanecido prácticamente idéntico durante más de cien años.

La primera red nacional la tuvo Inglaterra que en 1852 contaba con 6500 kilómetros de líneas. Estados Unidos, Francia, Alemania y otros países europeos siguieron rápidamente este desarrollo. Pero falta un eslabón importante para la comunicación mundial, un cable entre Europa y América, hazaña llevada a cabo en 1866. (4)

### 1.1.3 Cables submarinos

La idea de atravesar el mar mediante cables correctamente aislados está ya expresada en la Memoria de Salvá de 1800. Se llevaron a cabo pruebas atravesando ríos y brazos de mar, con el inconveniente principal de mantener el aislamiento del conductor. Se intentó utilizar el caucho, cubiertas de algodón, asfalto... EN 1845 se empezó a ensayar el aislamiento con gutapercha que es el látex de un árbol de Malasia. Este material dio buen resultado y en Inglaterra se constituyó una compañía para tender un cable hacia Francia. Para sumergir el cable se habían colgado pesos de 8 a 10 kilogramos cada cien metros para que se hundiera bien. Este primer intento fue un fracaso pues el cable lo rompió un pescador. El año siguiente se hizo otro intento con un nuevo cable formado por cuatro conductores de un diámetro de 1,65 milímetros, recubiertos por dos capas de gutapercha. Sobre el haz de los cuatro conductores se enrollaba un hilo de cáñamo embreado. Para rellenar los espacios vacíos se embutían hilos de cáñamo. Todo ello recubierto por diez hilos de hierro galvanizado como armadura protectora.



*Ilustración 5: primer cable trasatlántico operativo*

Este segundo cable se tendió con éxito el 25 de septiembre de 1851 entre Dover (Inglaterra) y el cabo Gris-Nez (Francia), cerca de Calais, con una longitud de 46 kilómetros y funcionó durante años. Demostró que la conexión era posible y también viable económicamente. El éxito de este despliegue invitó a otras empresas a llevar a cabo operaciones similares. Cables entre Inglaterra e Irlanda, Ostende (Bélgica), Holanda... También se inició en la zona del Mediterráneo esta práctica para unir Córcega y

Cerdeña, Cerdeña y Argelia, Malta y Sicilia... De 1851 a 1860 se tendieron 50 cables, con una longitud de 19.000 kilómetros, pero solo 20 estaban operativos en 1860. (5)

Esta primera época de tendidos de cable bajo el mar estuvo marcada por muchos fracasos, debidos a la cubierta débil de los cables que se rompían por estar expuestos a anclas de barcos, redes, dragas, la acción de las olas y las rocas. Para corregir esto se diseñaron cables de dos clases: cables de costa y cables de fondo.

Los cables de costa se utilizaban hasta alcanzar profundidades de 80 metros y pesaban entre 4 y 6 toneladas por kilómetro. Estas características también imponían limitaciones en el despliegue, transporte y manejo de estos pesados cables. El fondo del mar, menos regular de lo esperado también generó la necesidad de mejorar las sondas marinas para conocer bien el terreno sobre el que se iba a asentar el cable.

Desde los inicios del tendido submarino se vio claro que era una operación muy cara, pero en pleno apogeo colonial la información era de vital importancia. Por ello, una vez demostrada la posibilidad de comunicarse de Inglaterra a Francia, los hombres de negocios pusieron India y Norteamérica en su punto de mira. Para llegar a América tenían 4000 km de mar sin ningún apoyo, a diferencia del camino a India, que ya contaba con enlaces intermedios.

El tendido del primer cable trasatlántico era un reto que marcaría un antes y un después en las comunicaciones y en la ingeniería del hombre. En cuanto se comprobó que los cables submarinos eran posibles se hizo el sondeo del trayecto trasatlántico más corto: Terranova-Irlanda, de unos 3.300 kilómetros. Encontraron un terreno relativamente plano y favorable para la operación. En 1856 se constituyó una compañía encabezada por Cyrus W. Field y se empezó a fabricar el cable, encargándose 2500 millas (4.600

kilómetros), cantidad superior a la distancia para superar las variaciones del fondo y posibles accidentes.

El cable tenía un solo conductor formado por siete hilos de cobre, de un diámetro de 0,6 milímetros, recubierto por tres capas de gutapercha y una capa de cáñamo embreado. También tenía tramo reforzado de cable de costa. El cable se repartió entre dos grandes barcos a vapor dispuestos por Estados Unidos y la armada inglesa. El plan era tender una parte del cable y al acabar soldarlo y seguir con el del otro barco. Tras un intento fallido se reemprendieron los trabajos y superando varios cortes y pérdidas de trozos de cable, se completó el tendido el 5 de agosto de 1858. En mitad de la euforia el cable dejó de funcionar, pero dejó claro que era posible y que era viable económicamente. Por ejemplo, entre los escasos mensajes que llegaron a cruzar el cable, estaba uno del gobierno inglés ordenando que el 62º Regimiento, que estaba en Halifax, no debía regresar a Inglaterra, aviso que ahorró al gobierno 50.000 libras.

En 1864 se empezó a fabricar un segundo cable que se rompió y hundió en su despliegue. Un tercer intento idéntico fue exitoso y posteriormente se recuperó el cable hundido en el intento anterior por lo que en 1866 existían dos cables entre América y Europa. (6)



*Ilustración 6: Cable trasatlántico de costa*

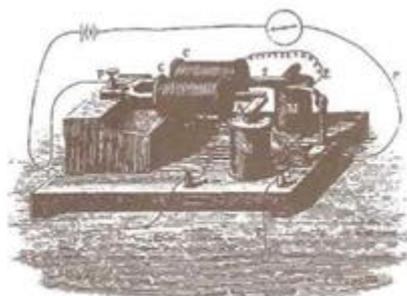
#### 1.1.4 De telegrafía a telefonía

Consolidado el aparato "morse" como el sistema telegráfico por excelencia que permitía establecer comunicación por cualquier tipo de conductor y salvando las dificultades de las distancias, incluso oceánicas, el telégrafo entró en una etapa dorada.

Alrededor de 1880 se había conseguido conectar prácticamente todos los países del mundo y los problemas principales que tenían que afrontar tenían que ver con la lenta burocracia del negocio de la telegrafía.

La primera línea de investigación precursora de la telefonía, denominada entonces "fonotelegrafía", consistía en utilizar corriente alterna producida por la vibración de un diapasón, para establecer comunicación telegráfica. Cincuenta años después estos aparatos dieron lugar a los equipos denominados de telegrafía armónica. (7)

El funcionamiento era el siguiente: el diapasón vibra a una frecuencia determinada, ajustable mediante pesos adosados a sus ramas, lo que produce un efecto similar a alargar o acortar los brazos de éste. Con varios diapasones se podían transmitir diferentes frecuencias sin que se interfirieran a través de una misma línea. Era un sistema múltiplex con un receptor simétrico, en el que las bobinas asociadas a un diapasón entraban en resonancia cuando la corriente de recibida se correspondía con la frecuencia del diapasón.

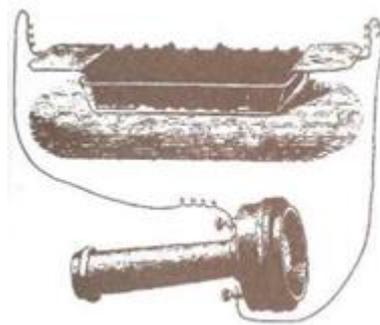


*Ilustración 7: Receptor de fonotelegrafía.*

A partir de 1878 hubo un nuevo elemento en el panorama técnico. En julio de 1876 había presentado Graham Bell su teléfono en la Exposición Internacional de Filadelfia y parece que, gracias a un golpe de suerte, obtuvo una gran publicidad (el Emperador de Brasil, que visitaba la Exposición y conocía a Bell, se interesó por su invento y centró la curiosidad de los periódicos). La publicidad ayudaría, pero lo cierto es que a partir de 1877 las revistas se llenaron de esquemas de teléfonos.

Bell tenía en 1885 su propia empresa y 142.000 teléfonos funcionando. En Europa las cosas fueron más despacio. Desde la base técnica impuesta por la patente de Bell numerosos aparatos telefónicos se desarrollaron por multitud de inventores de distintos países. La mejora y desarrollo de los micrófonos era el deseo principal de los inventores.

El teléfono se consideró un aparato telegráfico más pero pronto vieron que tenía particularidades, como el ruido inducido por las corrientes y la coexistencia en un mismo cable de los dos métodos de comunicación. El ámbito del teléfono era local, las grandes distancias seguían cubiertas por la telegrafía. Para adaptar estas distancias a la nueva tecnología debían sustituir los alambres de hierro por alambres de cobre o bronce, hacer transposiciones para reducir la inducción, y superar la barrera económica que estas restricciones establecían.



*Ilustración 8: Micrófono de carbón*

En 1890 se empezaron a construir cables especializados en telefonía: cables de pares y cuadrates. El aumento de las distancias hizo aparecer el problema de la desecualización de la señal: las frecuencias agudas se atenúan más que las graves en la misma distancia. Esto se solucionó cargando la línea introduciendo reactancias para contrarrestar la capacitancia. (8)

#### 1.1.5 Nacimiento de la telefonía y redes precursoras a Internet

La telefonía terminó el siglo XIX en un rápido crecimiento de las áreas urbanas con dos principales características: la necesidad de la intervención de un operador para hacer la conexión entre los abonados de la central y dificultad para obtener comunicaciones a larga distancia. Estos dos puntos son los que tomaron el interés de los técnicos.

En 1893 se puso en funcionamiento la primera central automática en La Porte. En 1897 la compañía Bell System introdujo en sus centrales un registro que almacenaba las señales de marcación y las transformaba en impulsos para gobernar los selectores. En 1910 ya había en Estados Unidos 132 centrales automáticas, con unos 200.000 abonados.

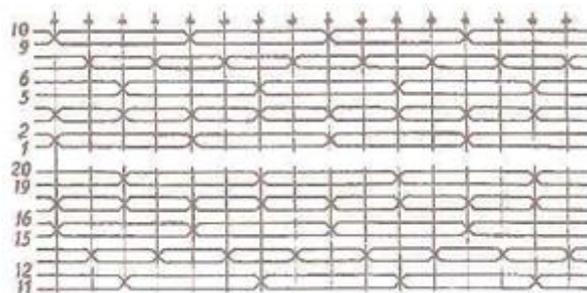
Sin embargo, la conmutación automática no parecía del todo asentada, de hecho, en España todavía no había ninguna central de este tipo. Uno de los primeros ingenieros de telecomunicación españoles decía en 1923: "... la telefonía automática puede considerarse en su infancia, está en constante período de tanteo y variación, no solo en detalles, sino en lo esencial, y nadie puede aún conjeturar, sin gran riesgo de error, cuál será su forma definitiva." (9)

Aunque la telefonía había experimentado un crecimiento muy grande, su ámbito se reducía al espacio urbano, salvo ciertas

excepciones. La transmisión de la voz a larga distancia era difícil por dos principales motivos:

- La falta de calidad, por los ruidos debidos a las inducciones, crecientes con la distancia entre interlocutores.
- El gran coste de las líneas.

Desde los primeros momentos se lidió con estas dificultades. Las líneas de larga distancia eran las mismas que usaban los enlaces telegráficos. Eran líneas aéreas, con hilos desnudos, es decir sin recubrimiento aislante, sobre postes. Se adoptó la construcción cuidadosa de las líneas, de forma que se equilibraran sus características eléctricas mediante un sistema de transposiciones. (10)



*Ilustración 9: Transposiciones.*

Se podría decir que a partir de 1900 se inicia una etapa de débil expansión de la telefonía a larga distancia. A la vez se desarrollaba la posibilidad de multiplexar señales como ya se hacía con las líneas de telegrafía. Las nuevas técnicas de multiplexación aprovecharon la aparición y desarrollo de las bobinas que se hizo durante 1890, lo que permitiría su uso en enlaces de larga distancia. En 1919 estaba funcionando una línea Nueva York – San Francisco de 5.400 kilómetros y otra entre Montreal y Vancouver de 6373 kilómetros.

Edison ideó un repetidor basado en los existentes en la telegrafía, que regenerara la señal. Con la aparición de diodo de Fleming y el triodo de Lee de Forest se dio una solución completa a la repetición

de la voz. Estos amplificadores, tenían que actuar bidireccionalmente así que se puso una conexión a 4 hilos y un amplificador en cada dirección.

Con la aparición de las válvulas electrónicas se facilitó mucho la posibilidad de construir amplificadores lo suficientemente buenos como para permitir comunicación a grandes distancias. En 1918 la compañía Bell System creó un sistema superpuesto de tres canales por la misma línea. Inmediatamente se consiguió enviar hasta tres canales telefónicos, además de la comunicación telefónica normal, por un solo circuito. Marcó un hito en la expansión de la telefonía y su capacidad. Se denominó este procedimiento transmisión telefónica por corrientes portadoras o sistemas de alta frecuencia, que tomó gran parte de las innovaciones tecnológicas de la radio, que también estaba en estado de pleno desarrollo. (11)

#### 1.1.6 Internet

En 1962 se inician las investigaciones de ARPA para llevar a cabo una red global de computadoras. Esta agencia, renombrada después como DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), fue la responsable de una gran parte de la investigación en ordenadores y comunicaciones de carácter innovador en EE.UU. durante estas décadas. En 1967 se da la primera conferencia sobre ARPANET, que fue una red de computadoras creada por encargo del Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DOD) para utilizarla como medio de comunicación entre las diferentes instituciones académicas y estatales. El primer nodo fue creado en la Universidad de California en Los Ángeles (UCLA), y fue la espina dorsal de Internet hasta 1990, tras finalizar la transición al protocolo TCP/IP, iniciada en 1983 (12)

A principio de los 70, Noruega e Inglaterra se conectan a la red con una computadora por país. Esta red primitiva puso los pilares de la red que conocemos hoy día, resultado de su crecimiento exponencial

en dispositivos conectados y del desarrollo y la innovación de los protocolos y tecnologías de comunicación. (13)

## 1.2 REDES DE COMUNICACIONES FIJAS

Como hemos visto la red telefónica se creó para conseguir comunicaciones de voz a larga distancia. Las primeras conexiones se establecieron punto a punto entre todos los usuarios de la misma red. Este sistema de conexionado se hace ineficiente en cuanto la red deja de ser pequeña por las siguientes razones:

- Se dispara el número de conexiones.
- Los usuarios no usan la línea telefónica todo el tiempo, se desaprovecha capacidad.
- Cuando un usuario establece conexión con un usuario, no necesita las demás.

Estas condiciones produjeron la solución actual en la que cada usuario se conecta a una central urbana. Todos los usuarios de una zona se conectan a la misma central urbana, y se lleva a cabo la interconexión allí. Este proceso se escala a nivel regional, nacional e internacional.(14)

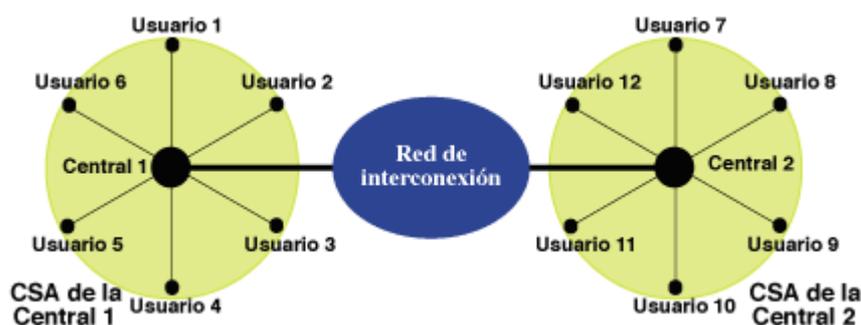


Ilustración 10: Red telefónica jerárquica

El transporte de datos exige un ancho de banda mucho más exigente que dio origen a diversas tecnologías: RDSI (Red Digital de

Sistemas Integrados), tecnología xDSL (Línea de Abonado Digital), ambas con soporte de cobre; y APON (Redes Ópticas Pasivas ATM), con fibra óptica como medio.

Este transporte de datos de banda ancha abre la puerta a multitud de nuevos y exigentes servicios, con un funcionamiento fiable y garantizando la QoS extremo a extremo.

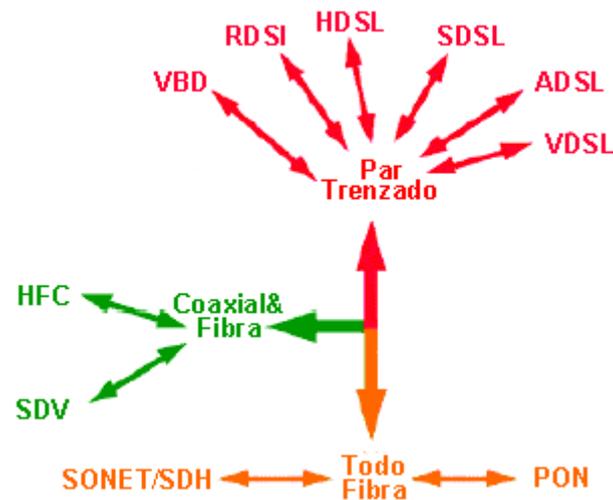


Ilustración 11: Alternativas de acceso.

## 1.2.1 Redes de banda ancha

### 1.2.1.1 RDSI

En Red Digital de Servicios Integrados cualquier tipo de información (voz, datos, imágenes, etc.), se trata igual una vez codificado digitalmente, aunque requieran diferentes velocidades. El CCITT (Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico) define la RDSI de la siguiente forma: "Una red que procede por evolución de una Red Digital Integrada (RDI) telefónica y que facilita conexiones digitales extremo a extremo para soportar una amplia gama de servicios, tanto de voz como de otros tipos, y a la que los usuarios tienen acceso a través de un conjunto limitado de interfaces normalizados de usuario multiservicio".

Las primeras instalaciones ofrecen conexiones a 64 Kbps, llegando hasta el propio terminal de abonado. Los canales en la RDSI

pueden ser de tipo B o D. Los canales B tienen una tasa de 64 Kbps y el canal D de 16 Kbps o de 64 Kbps cuando es acceso básico (2B+D) o acceso primario (30B+D) respectivamente. La multiplexación de estos canales es temporal. Mantiene la interconexión con redes no digitalizadas e incorpora centros de conmutación de paquetes, que es un servicio puramente digital. (15)

### 1.2.1.2 Las tecnologías de acceso xDSL y ADSL

La tecnología xDSL, surge por la insuficiente capacidad de transmisión del par de cobre. Incluye toda la familia DSL que utilizan técnicas de modulación modernas y frecuencias más altas que las utilizadas por el servicio telefónico. En la tabla se muestra un resumen comparativo entre algunas de las tecnologías xDSL. (16)

Tipo de DSL	Simétrico/Asimétrico	Distancia de la línea (m)	Velocidad DS(Mbps)	Velocidad US(Mbps)
IDSL	Simétrico	5400	0'128	0'128
SDSL	Simétrico	3000	1'544	1'544
HDSL (2 pares)	Simétrico	3600	1'544	1'544
SHDSL	Simétrico (1 par)	1800	2'312	2'312
	Simétrico (2 pares)	1800	4'624	4'624
ADSL G.lite	Asimétrico	5400	1'5	0'512
	Simétrico (2 pares)	1800	4'624	4'624
ADSL G.lite	Asimétrico	5400	1'5	0'512
ADSL	Asimétrico	3600	8	0'928
VDSL	Asimétrico	300	52	6
	Simétrico	300	26	26
	Asimétrico	1000	26	3
	Simétrico	1000	13	13

Tabla 1: comparativa tecnologías xDSL

La conexión ADSL fue un gran avance en la red fija de todo el mundo. Es una conexión asimétrica, que permite buenas tasas de velocidad a través de la conexión tradicional a través de un par de

hilos de cobre (conexión telefónica). En la siguiente figura vemos un esquema de cómo es una conexión ADSL, siendo RTPC la Red de Telefonía Pública con Conmutación. (17)

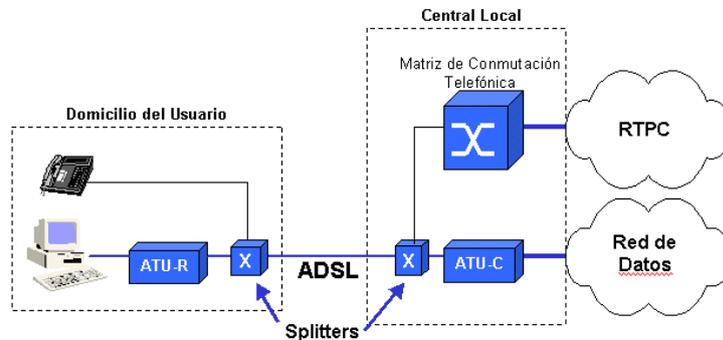


Ilustración 12: Conexión ADSL

En casa del cliente la señal se divide en dos para separar la parte telefónica y la parte de datos. Este proceso lo lleva a cabo un splitter que hace un filtro paso bajo para obtener la señal de teléfono y paso alto para los datos.

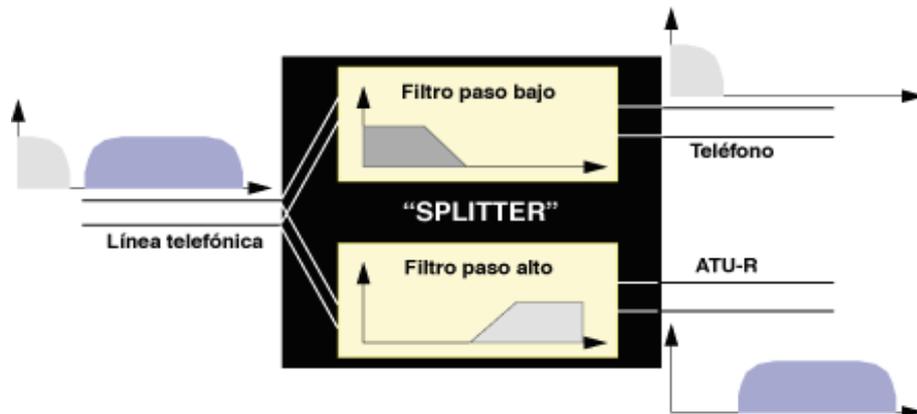


Ilustración 13: Funcionamiento del splitter

### 1.2.2 Redes ópticas pasivas

En los últimos años, se han instalado servicios avanzados en millones de hogares utilizando tecnología DSL. Sin embargo, los recientes desarrollos han conducido a un creciente interés por parte de los proveedores hacia la entrega de servicios de banda ancha sobre fibra óptica. Estos desarrollos incluyen la implementación de FTTH con fibra enterrada en nuevas construcciones y, en algunos casos, la instalación posterior de FTTH utilizando fibra aérea aprovechando postes de telefonía.



*Ilustración 14: fibra aérea*

El desarrollo de la tecnología de redes ópticas pasivas ATM (APON) es esencial para el éxito de la implementación a gran escala de FTTH. Las distintas plataformas APON permiten a los proveedores entregar servicios de banda ancha a usuarios residenciales, cubriendo sus necesidades presentes y futuras.

En junio de 1995, cuando se formó el consorcio FSAN (Red de Acceso de Servicios Completos), formado por más de 20 operadores de telecomunicaciones de todo el mundo, acometió el desarrollo de una especificación que definiera un sistema de comunicación capaz de soportar un amplio rango de servicios. Esta iniciativa facilitaría la

introducción a larga escala de las redes de acceso de banda ancha, definiendo un conjunto básico de requerimientos comunes.

En 1998, la especificación producida por el grupo fue adoptada por la UIT como el estándar G.983.1, que define el acceso óptico de banda ancha utilizando la APON.

La tecnología de fibra óptica ofrece teóricamente un ancho de banda ilimitado y fue una revolución en las comunicaciones por sus prestaciones, destacando la baja atenuación que ofrece con la distancia.

Hay diferentes topologías de fibra dependiendo del lugar de entrega de ésta: FTTH, FTTB, FTTCab, y FTTC.

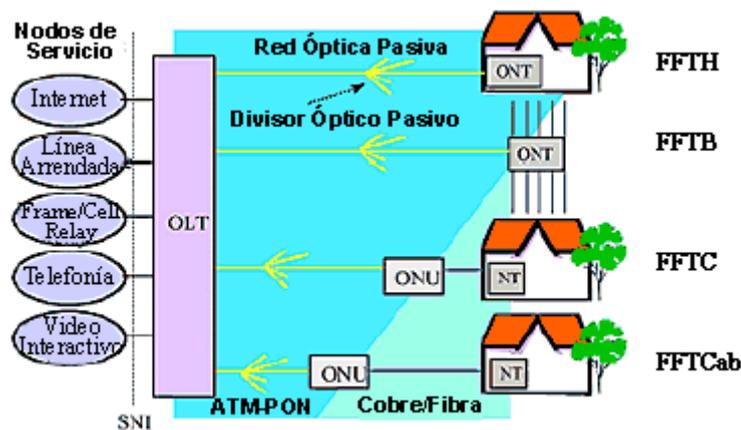


Ilustración 15: APON sobre arquitectura FTTx

La PON puede ser común a todas estas arquitecturas. Sin embargo, sólo en las configuraciones FTTH/B se eliminan todos los componentes electrónicos activos que puede presentar una red HFC

Los elementos básicos de la APON son la OLT, ONT, la fibra y splitters y un sistema de gestión de red. La planta externa es totalmente pasiva. Esto quiere decir que todos los elementos entre OLT y ONT son pasivos, no necesitan alimentación. La OLT puede soportar varias OLT y hasta a 20 Km de distancia de las ONTs. Combinando esto con la gran

capacidad de la red, vemos que una única OLT es capaz de soportar un gran número de usuarios. (18)

Se utilizan técnicas de multiplexación por longitud de onda (WDM), que utilizan tres longitudes de onda distintas, coincidiendo con las ventanas del espectro en las que la atenuación es menor.

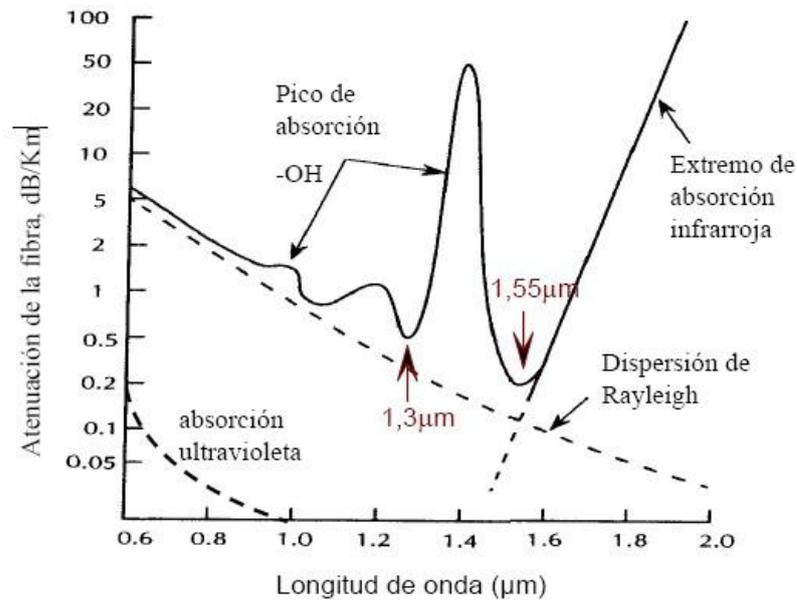


Ilustración 16: atenuación fibra óptica según longitud de onda

A su vez las longitudes de onda también se pueden multiplexar. Por ejemplo, en nuestra red, las fibras de vídeo llegan desde la cabecera y no pasan por la OLT. Se añade en un multiplexador WDM para obtener la salida de datos en una única fibra (Figura 4.10).

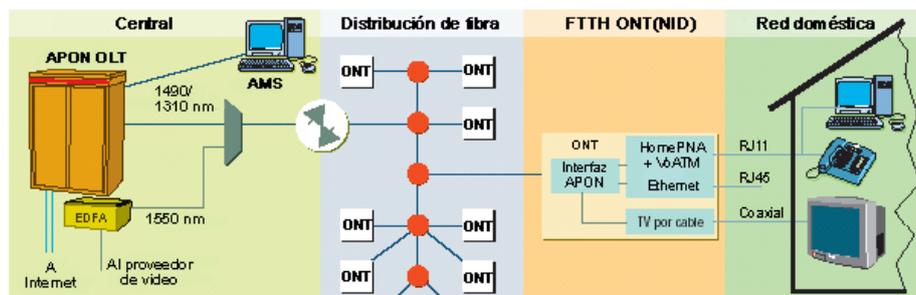


Ilustración 17: APON para FTTH

### 1.3 Historia de Vodafone

Vodafone Group plc, es un operador de telefonía móvil, telefonía fija y transporte de datos, multinacional con sede central en Newbury, Berkshire, Reino Unido. Tiene presencia mundial y es el segundo operador de telecomunicaciones más grande del mundo en número de clientes y en beneficios, solo superado por China Mobile. 439 millones de clientes formaban la cartera de Vodafone a diciembre de 2017.

El nombre Vodafone proviene de VOice-DAta-FONE (Teléfono de datos y voz), nombre elegido por el fundador, que fue visionario al intuir la importancia que los datos tomarían en las telecomunicaciones.

Vodafone llevó a cabo su primera llamada de móvil en el Reino Unido, unos pocos minutos después de la medianoche del 1 de enero de 1985. Vodafone UK hizo su primera llamada de voz 3G el 16 de abril de 2001.  
(19)

#### 1.3.1 Vodafone España

Vodafone España es una de las cuatro principales filiales del Grupo. Vodafone compró participaciones de Airtel progresivamente para tomar el control de esta antigua operadora de móvil. Es una de las filiales más importante y cuenta con uno de los centros de I+D Vodafone. En Europa es el primer operador de telefonía móvil y en España ocupa el segundo lugar después de Movistar. Con las compras en 2007 de Tele2 España y en 2014 de ONO se convirtió en un operador de servicios integrales en telecomunicaciones (telefonía móvil, telefonía fija y ADSL). (20) El 18 de diciembre de 2014, lanza al mercado Lowi, una división low cost que opera sobre la misma red de servicios Vodafone.  
(21)

## 1.4 Arquitectura de red

En la red de Vodafone distinguimos tres servicios principales: TV, voz y datos. Estos tres servicios están convergiendo hacia servicios de datos con nuevas tecnologías como VoIP o VoD en Catch-up.

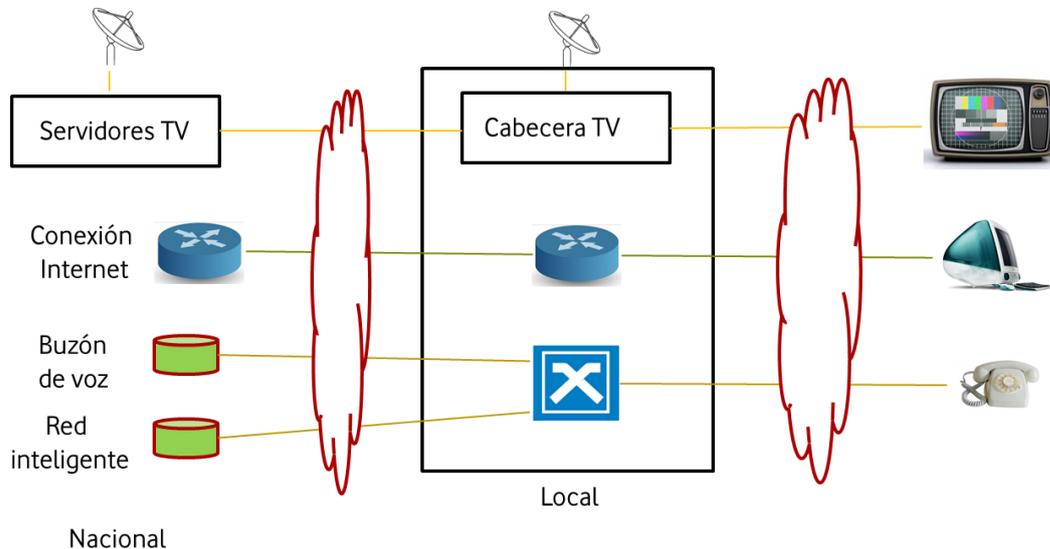


Ilustración 18: Servicios de red fija

El servicio de televisión se da mediante una red de coaxial desplegada desde el último nodo de red. El servicio de telefonía se da mediante una red de pares o coaxial desplegada desde el último nodo de red. En este nodo, el multiplexor de acceso se conecta con la central. El servicio de acceso a Internet se daba inicialmente mediante la red de pares con dial-up, pero, a partir del año 2000, se da sobre la red de coaxial gracias al uso del estándar DOCSIS.

Desde el último nodo de red hasta la cabecera local se despliega una red de fibra para satisfacer las necesidades de capacidad y atenuación de este enlace.

La conexión entre cabeceras constituye una red troncal o Backbone, desde la que se distribuye de manera jerárquica los servicios, teniendo los siguientes elementos troncales:

- Cabecera de Tv centralizada que provee el servicio de Tv.

- Red de conmutación nacional y despliegue de plataformas centralizadas. (Voz)
- Backbone de datos con salida a distintos suministradores de acceso a Internet (nacional e internacional). (22)

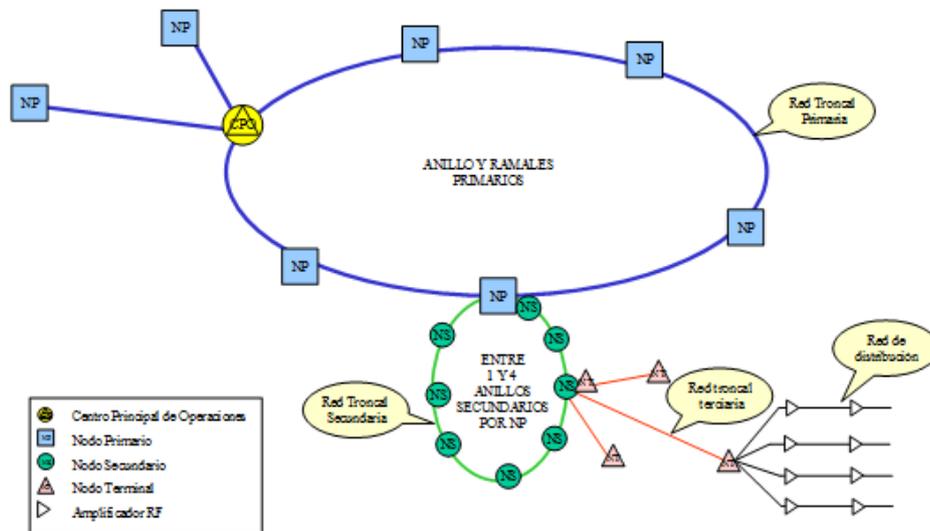


Ilustración 19: elementos y jerarquía de red fija.

Por debajo de estos componentes se encuentran otros que analizaremos en sentido descendente:

- **NP (nodo primario):** Nodo de red en el que se concentran los anillos secundarios hasta un máximo de 4. Los NP se conectan formando las redes troncales primarias que permiten llevar el tráfico a los CPO/CSO. La troncal primaria tiene un cable de al menos 96 fibras. En los NP se hace la inserción de los servicios de televisión y datos en la red HFC.
- **NS (nodo secundario):** Nodo de red en el que se concentran 4 NT, siendo un nodo de estos cuatro a su vez NT y NS. Los NS se conectan formando las troncales secundarias que permiten llevar

su tráfico a un NP. La troncal secundaria tiene un cable de 64 fibras. El número máximo de NS en una troncal secundaria es 8.

- **NT (nodo terminal):** Nodo de red desde el que se da servicio directamente a los clientes con pares y coaxial. Cada NT da servicio a un área de 500 hogares. Se conecta con su NS por medio de un cable de 8 fibras ópticas, aunque se usan 4 en descendente en broadcast desde NP, una en ascendente directa al NP y 2 para SDH hasta el NS.
- **CPO (centro principal de operaciones):** Nodo desde el que se da servicio a una demarcación completa. En él se encuentran la central de conmutación, la cabecera de televisión regional, que inserta canales de la zona y los router de backbone IP.
- **CSO (centro secundario de operaciones):** Nodo desde el que se daba servicio de conmutación a algunos NPs de una demarcación.
- **CL (Central Local):** Nodo de la antigua Retevisión para dar servicio de telefonía (con central) en una provincia. En él suele estar la transmisión troncal.
- **PdP (punto de presencia):** Nodo de la antigua Retevisión para dar servicio de telefonía sin central en una provincia. En él suele estar la troncal Tx. (23) (24)



influencia de los CPOs depende de la demarcación inicial de cable.

- **Red Nacional (RTI):** Red que interconecta todos los CPOs. Permite la distribución de servicios desde plataformas centralizadas.

La Red de Acceso Tx está compuesta por la red metropolitana y parte de la red regional (en entorno provincial) y la Red Core está compuesta por la red nacional y parte de la red regional (en entorno interprovincial).

Las dos tecnologías principales desplegadas en la red Tx de Vodafone son SDH y DWDM, teniendo SDH 5 veces más presencia en el número de equipos en red.

#### 1.4.1 Red DWDM

Debido al elevado número de fibras disponibles en la infraestructura de ONO, inicialmente no se desplegó DWDM en la red acceso Tx. Los enlaces de fibra óptica que se han ido desplegando se deben a:

- Redes troncales primarias constituidas sobre fibra alquilada.
- Conexiones de NP con NC para la entrega de mucho tráfico.

Los sistemas que se están desplegando en red de acceso permiten el transporte de hasta 40 canales de 10Gbps.

La red troncal DWDM conecta los CPO y CL de la red. En algún caso, la troncal puede recoger el tráfico de un NP cercano. Se evita que los nodos de la red troncal estén en árbol, como criterio de diseño. La conexión de Baleares y canarias se hace con un enlace DWDM con capacidad protegida.

### 1.4.2 Red SDH.

La red SDH tiene diferentes tipos de enlace para ofrecer capacidad variable dependiendo del nivel de red en que nos encontremos:

Enlace	Capacidad
Red troncal terciaria	STM-1 o STM-0
Red troncal secundaria	STM-1
Red troncal primaria	STM-4, STM-4 o STM-64
Nodo cliente (NC)	Enlace dedicado flexible desde NP

Tabla 3: tipo de enlace y capacidad asociada

La red troncal SDH conecta los CPO y CL de la red. En algún caso, cuando la troncal pasa por una población en la que hay un NP, la troncal recoge también su tráfico.

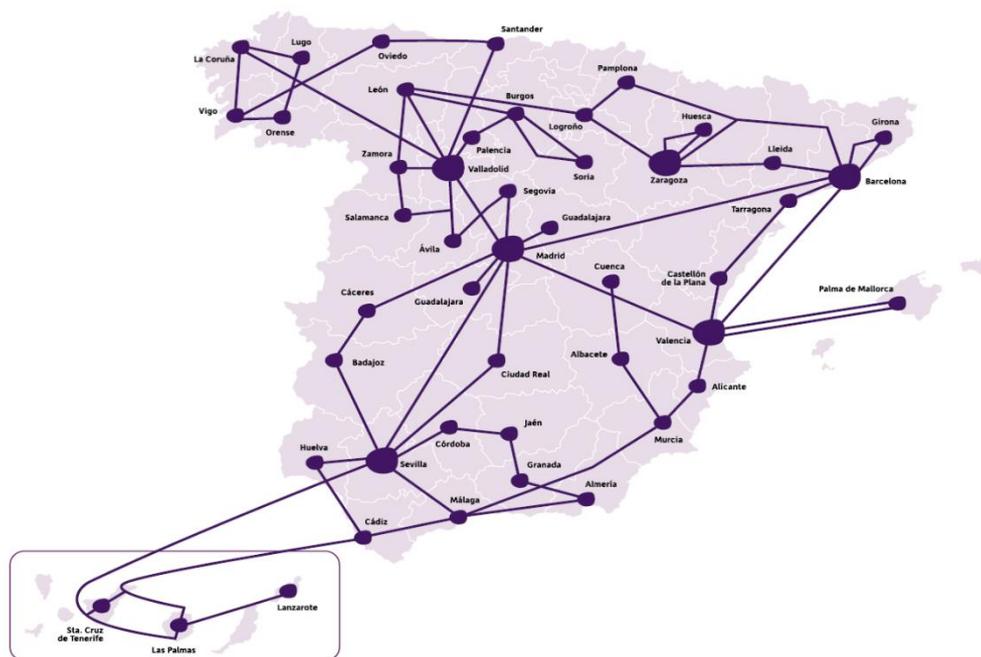


Ilustración 21: Red troncal SDH

Como hemos visto antes se evita que los nodos de la red troncal SDH estén en árbol, para intentar reducir los puntos simples de fallo.



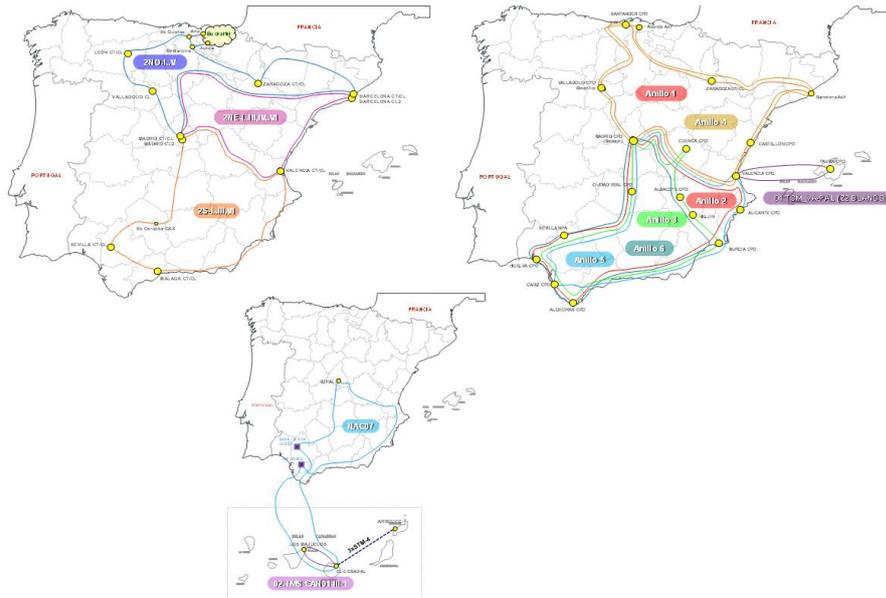


Ilustración 23: red regional (nivel 2)

- Red mallada de restauración (RMR): Red integrada por 2 anillos STM-64 y algunos enlaces punto a punto STM-64 con capacidad de reserva por terceras vías físicas a los nodos. También está configurada con protección combinada MS-SPRing y SNCP. (24)

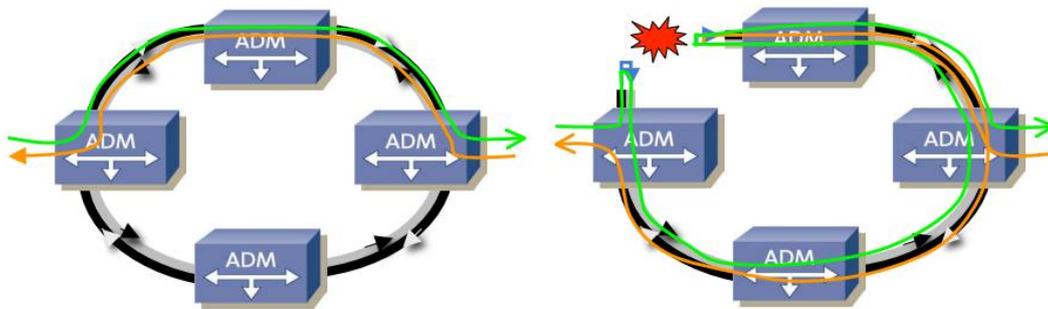


Ilustración 24: MS-SPRing

La estructura completa del acceso SDH quedaría así:

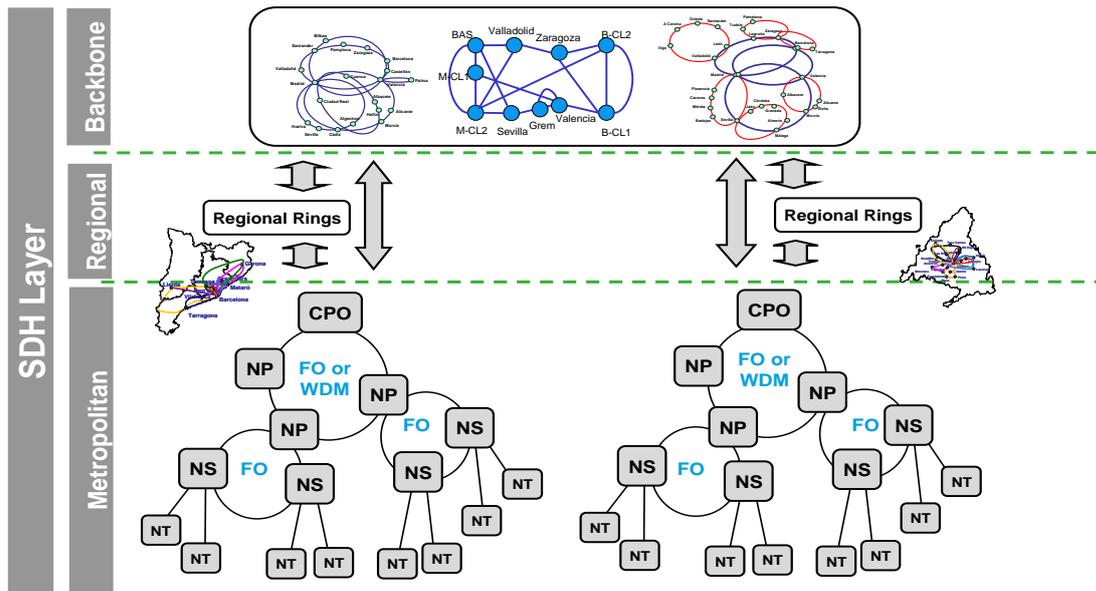


Ilustración 25: estructura acceso SDH

### 1.4.3 Arquitectura de servicios de cliente

Una vez vista la arquitectura de red a nivel troncal, vamos a analizar la arquitectura de la red del lado que más afecta al cliente. La arquitectura de los servicios completos sobre red fija se puede resumir así:

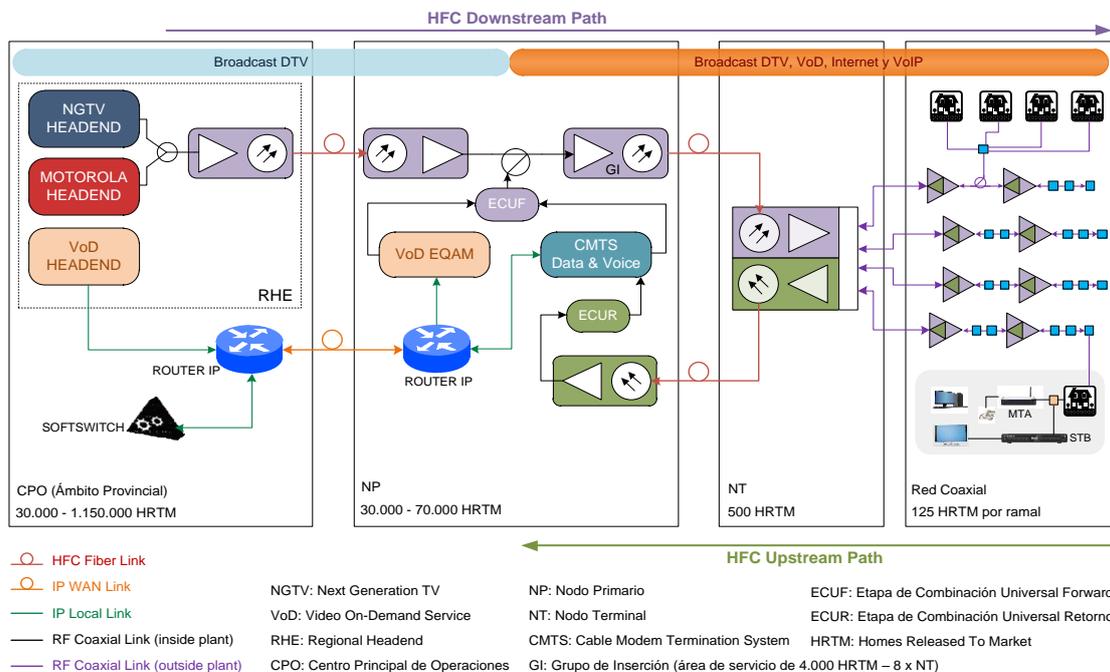


Ilustración 26: estructura servicios red fija.

En cabecera se insertan los canales de NGTV y Motorola. Este último ha quedado obsoleto junto con la televisión analógica en febrero de 2018, ya que Navarra y La Rioja aún mantenían este servicio. El VoD sigue otra ruta y en el NP se mezcla con datos y voz procedentes de la CMTS en el ECUF y se añade a la señal de las cabeceras de NGTV, que usan una modulación 256QAM. Esta señal pasa después por el NS, el NP, los divisores y amplificadores para llegar finalmente a casa de cliente. Allí, esta señal combinada se divide en señal de STB y CM o MTA. El VoD actualmente se hace en gran parte por Catch-up, por lo que viene sumado en el flujo de datos de la CMTS. Cuando el VoD no es por Catch-up, se establece una sesión a través de la CMTS y el usuario pasa a gobernar la emisión del canal VoD. (25)

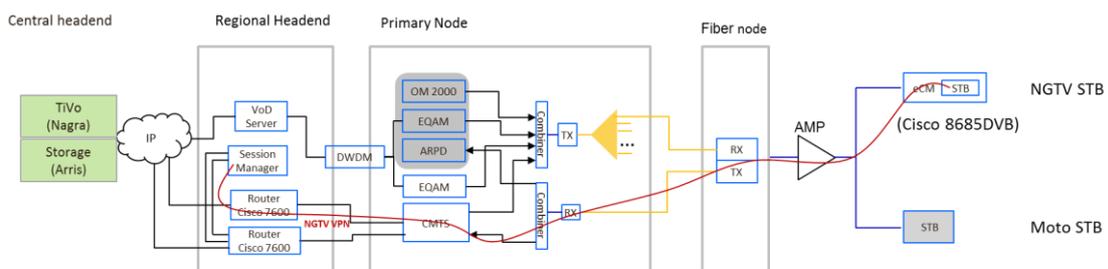


Ilustración 27: VoD sin catch-up

#### 1.4.4 Elementos y características red HFC

Todas estas transmisiones sufren los efectos del transporte de señal sobre la red HFC:

- La red coaxial empieza en el nodo óptico y termina en el CPE de cliente y se diseña para que al cliente llegue el espectro de señal descendente aproximadamente plano.
- Como el coaxial atenúa más en las altas frecuencias que en las bajas, además de amplificar la señal en el camino desde el nodo hasta el cliente hay que ecualizarla.
- Ecualizar significa dar más nivel a unas frecuencias que a otras. Esa diferencia de nivel se llama TILT (pendiente) y típicamente a la salida del nodo se aplica una TILT de 10 dB/década para que llegue aprox plana a la entrada del primer amplificador y a la

salida de los amplificadores se le vuelve aplicar una TILT de 10dB para que llegue aproximadamente plana al cliente.

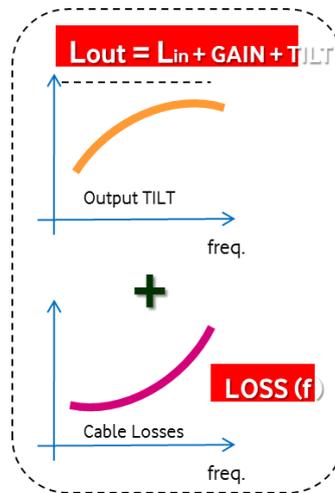


Ilustración 28: pre equalización

- En la red VF ONO hay como máximo 3 amplificadores en cascada y se usan diferentes calidades de cable. Los mejores se usan para enlaces troncales y los peores entre TAP y cliente.

	<b>QR540</b>	4 dB caída de TILT cada 100 mts	86 MHz
		2 dB/100mts	862,6 MHz
		6 dB/100 mts	
	<b>RG11</b>	9 dB caída de TILT cada 100 mts	86 MHz
		4 dB/100mts	862,6 MHz
		13 dB/100 mts	
	<b>RG6</b>	14 dB caída de TILT cada 100 mts	86 MHz
		6 dB/100mts	862,6 MHz
		20 dB/100 mts	

Ilustración 29: tipos de cable utilizados.

Dentro de la estructura del nodo terminal podemos ver varios dispositivos:

- *Divisores o splitters*: dispositivos que dividen la señal de entrada en 2 ó 3 salidas, existiendo varias opciones para la distribución de la señal (2 salidas iguales, 3 salidas iguales, 1 salida con el 50% de la entrada + 2 salidas con el 25%).
- *Acopladores direccionales*: estos dispositivos tienen una salida derivada y otra de paso. Se dispone de varios modelos en

función de la atenuación que sufre la salida derivada respecto a la entrada. Los modelos empleados serán de 8 y 12dB.

- *Taps*: dispositivos que distribuyen una parte de la potencia que les llega entre varias salidas (2, 4 ó 8) que dan servicio al cliente, dejando el resto de potencia a una salida de paso que conecta con el siguiente elemento. Existen varios modelos dependiendo de la atenuación que sufre la señal entre la entrada y las salidas derivadas. (26)

## 2. KPIs

KPI es un acrónimo formado por las iniciales de los términos: *Key Performance Indicator*. La traducción válida en castellano de este término es: indicador clave de desempeño o indicadores de gestión.

Cada departamento tiene sus propios KPIs, que son parámetros cuantificables que sirven para ver qué tal está el departamento y cuál está siendo su progreso. En Vodafone estos parámetros se eligen siempre pensando en el cliente.

En el caso particular del departamento de tecnología valoramos los parámetros de red que pueden llegar a afectar a la experiencia del usuario (cortes, lentitud, pixelaciones...).

### HFC – Parámetros RF fuera de rango\_W09

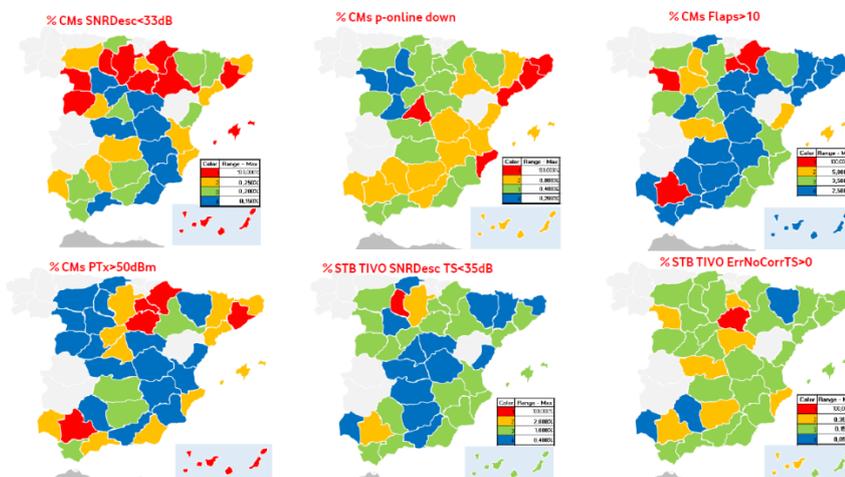


Ilustración 30: ejemplo mapa de calor KPIs

Una vez analizados estos KPIs utilizamos diversas herramientas para concretar la raíz del problema y tomar las medidas necesarias que llevarán a cabo los departamentos de FLM (First Line Management) y despliegue. (27)



Ilustración 31: Flujo de acción

## 2.1 PTx

Este es un KPI de carácter ascendente, es decir desde el cliente hacia la central. Este parámetro indica la potencia con la que está transmitiendo el cable módem (CM en adelante) y se mide en dB $\mu$ . El recorrido que tiene la señal del usuario hasta la central es distinto para cada uno, pero todos tienen que llegar a la central con el mismo nivel de señal. En ascendente la señal de todos los equipos se va sumando y para la central todas las señales de equipos que no está demodulando pasan a ser ruido. Por esta razón, para maximizar señal y reducir ruido, todos los equipos deben llegar con el mismo nivel.

La CMTS o CMC (como veremos después y dependiendo de si tenemos red DOCSIS 3.0 o DOCSIS 3.1) indican al cable módem si la potencia con la que están transmitiendo es correcta o no, y los ajusta a través de envíos de señal "P-adj" (ajuste de potencia). Los CMs tienen un rango de funcionamiento de PTx desde los 30 hasta los 57 dB $\mu$ . El valor ideal es de 44-46 dB $\mu$ , para tener una buena señal en origen y margen de maniobra en caso de ruido o ajustes.

El máximo de PTx varía según los equipos y condiciones:

- Equipos narrow-band: utilizan una única portadora de retorno, típicamente equipos de TV que no requieren gran capacidad en Upstream.

PTx máxima: 51 dBμ.

- Equipos wide-band: utilizan 4 portadoras de retorno, son CMs o MTAs. Su máximo se adapta a las necesidades de la CMTS:

- 4 portadoras → 51 dBμ
- 2 portadoras → 54 dBμ
- 1 portadora → 57 dBμ

Si el cable módem está emitiendo al máximo con las 4 portadoras y sigue recibiendo peticiones de "P-adj", puede doblar potencia (+3dB) y pasar a dos. Este proceso lo puede repetir para pasar de 2 portadoras a únicamente 1. Cuando está en uno de estos dos estados el cable módem se mostrará como p-online en vez de w-online (*partially online* ya que no aprovecha todas las portadoras de un estado *wide-band online*).

Este parámetro se separa a su vez en dos tipos:

- PTx>50 dBμ. Equipo emitiendo muy alto, con riesgo de saturación.
- PTx! Equipo saturando, la central sigue pidiendo más y el equipo no puede satisfacer esta necesidad.

El impacto percibido por el cliente se dispara en los equipos con "PTx!", ya que hemos comprobado que se traduce en pixelaciones en servicios de TV y en errores y reenvío de paquetes en servicios de Internet.

Esta información y otros parámetros por CM individual la extraemos de la herramienta "Thot".

## 2.1.1 Thot

**THOT**

Thot es un software propio que, entre otras cosas, nos permite hacer consultas en tiempo real a todos los equipos (CMs o equipos de servicios de TV) que se encuentren en la zona deseada.

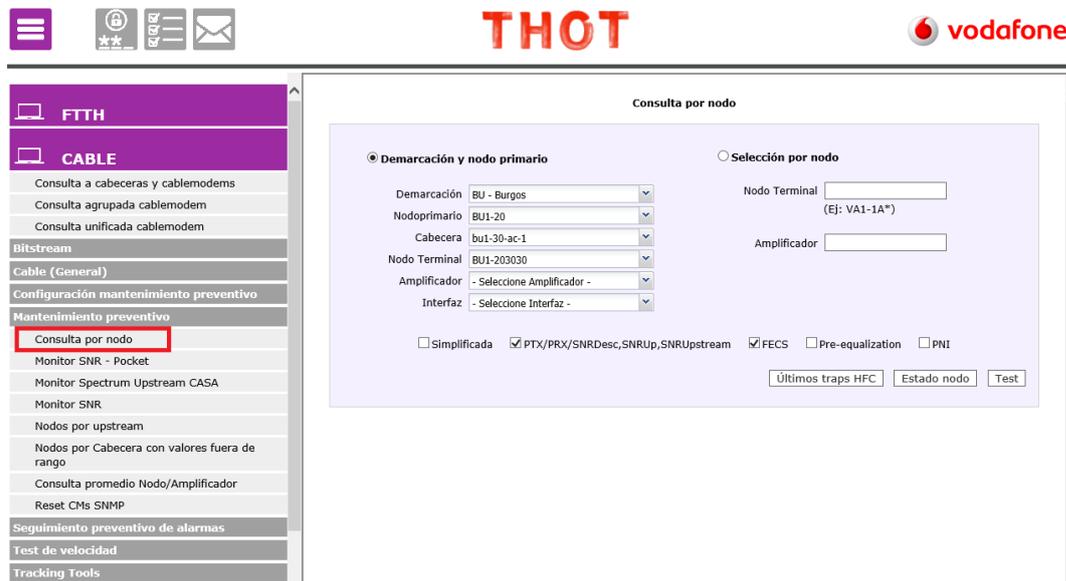


Ilustración 32: herramienta de consulta Thot

Seleccionamos las zonas en orden descendente en la distribución de la red:

Provincia → Nodo primario → Cabecera → Nodo terminal → Amplificador → Interfaz

Debajo seleccionamos los datos que queremos que nos proporcionen los equipos consultados.

En este caso tenemos especial interés en la PTx, pero veremos cuáles son los parámetros más útiles para nosotros dentro de esta consulta:

- **MAC:** dirección física unívoca del dc53.7c76.037f usuario.
- **Estado:**
  - ✓ w-online, todas las portadoras activas. **w-online(pt)**
  - ✓ p-online, alguna portadora caída. **p-online(pt)**
  - ✓ Offline, equipo sin servicio. **offline**

- **Nodo Final:** nodo al que pertenece.
- **Amp:** último amplificador del que cuelga.
- **TAP:** TAP que le da servicio, aunque parte de nuestra zona está sin inventariar.
- **Cliente:** código del cliente en nuestros sistemas.
- **Tipo Cliente:** si es empresa, particular, Vodafone o Lowi.
- **Cod.Servicio:** código del servicio contratado.
- **STB:** si es un equipo de televisión o no (Set Top Box).
- **Headend:** nodo primario al que pertenece.
- **I/F:** cable del interfaz de la cabecera al que pertenece.
- **I/F\_DS:** portadora dentro del cable del interfaz que le corresponde.
- **Freq\_DS:** frecuencia central de la portadora descendente.
- **Modulacion:** modulación ascendente, suele ser 64 QAM.
- **SNRUp\_C1-4:** SNR de cada portadora en ascendente.
- **T.Offline:** tiempo offline, en segundos.
- **Rxpwr:** Potencia recibida por el nodo primario.
- **IP CM:** dirección IP del cable módem.
- **Vel.DS:** velocidad contratada de bajada.
- **Vel.US:** velocidad contratada de bajada.
- **Ptx\_C1-4:** potencia de transmisión de cada una de las portadoras ascendentes.
- **SNRDesc\_C1-16:** SNR de las portadoras en descendente.
- **Prx\_C1-16:** potencia recibida por el equipo en portadoras descendentes.
- **Hit:** pregunta desde la cabecera para ver si el equipo está activo.
- **Miss:** veces que el equipo no responde al hit.
- **P-Adj:** veces que la cabecera ha solicitado ajuste de potencia.
- **Flap:** contador de situación anómala en el equipo.
- **Desc\_Cmodem (%) Corrected FEC:** porcentaje de errores corregidos DS.

- **Desc\_Cmodem (%) Uncorrectable FEC:** porcentaje errores incorregibles DS.
- **Asc\_Cmodem (%) Corrected:** porcentaje errores corregidos US.
- **Asc\_Cmodem (%) Uncorrectable:** porcentaje errores incorregibles US. (29)

Para ver cómo se encuentra un nodo o una cabecera en PTx necesitamos ver como se encuentra el conjunto de equipos en nivel descendente; primero vemos si la cabecera está desviada, después el nodo, después los ramales y por último la distribución de PTx del TAP.

PTX int	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	
na1-ma-ac-1	4	4	11	20	18	23	23	48	44	48	45	39	41	39	47	23	14	14	5	4	19	
NA1-092A10	4	4	11	20	18	23	23	48	44	48	45	39	41	39	47	23	14	14	5	4	19	
A1				1	1			2	3	3		2	1	1	2	1		1			1	
A2			1		2			5	4	6	6	5	7	3	3				2	1	1	4
A3						1	1	3	1	2									2			1
AT											1	1										
B1	1		1	2	3	1		1	2	1	2	2	4	5	6	6	3	2				
B2					2	3	1	1	5	3	2	4	4	1			1		1			1
B3		1		1			1	4	5	2	5	5	4	8	4	1						2
C1			1	4	4	5		6	5	4	3	4	1	6	3	1	2					1
D1		1		1		2	2	4	3	4	6	4	3	2	4	1	1					2
D2	2	1	7	9	5	9	12	20	14	18	19	5	11	10	21	11	7	6	2	2	7	
D3	1	1	1	2	1	2	1	3		5	2	1	5	3	3	1		1	1			1
DBF													1		1	1						
DC												2										

Ilustración 33: distribución PTx

Cuando los equipos por PTx y ramal de un nodo solemos ver fácilmente la campana de distribución, con un centro ideal situado en los 44-45 dB. Como vemos en la figura anterior, vemos un repunte en la potencia de 51 dB, que serán equipos narrowband saturando. Para ver con más detalle qué está sucediendo veremos esta distribución a nivel de TAP.

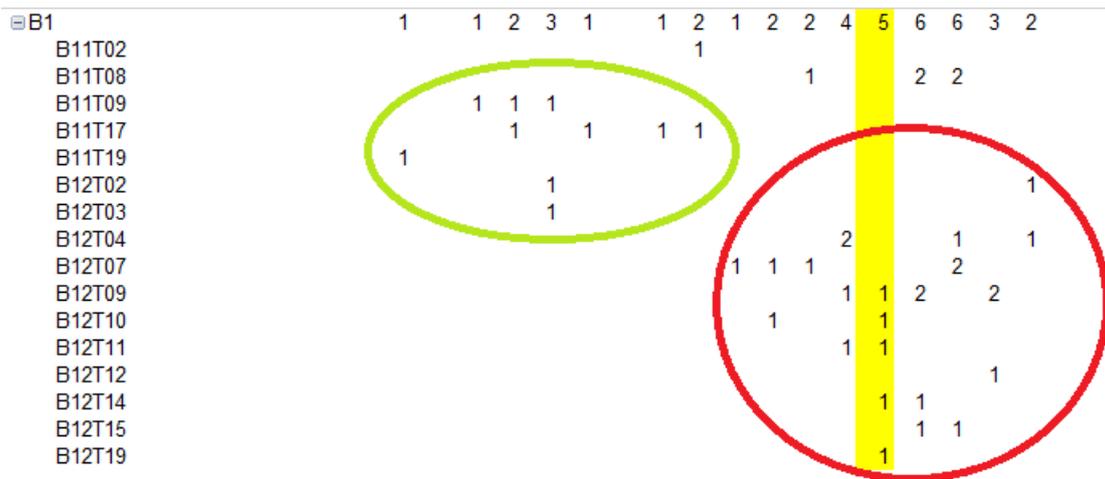


Ilustración 34: taps que requieren ajuste

Vemos que dentro del ramal B1 tenemos una distribución muy alejada del caso ideal, en la que hay equipos con PTx baja y muchos equipos en mal estado por PTx alta. Esta situación se corregirá con un ajuste del amplificador y/o de los TAPs, o también revisando la distribución de los splitters.

Este mismo método lo podemos usar para detectar ramales afectados por equipos con PTx!, es decir, saturando.

## 2.2 DSSNR

Las redes HFC utilizan enlaces ópticos y de radiofrecuencia analógicos. Los láseres se modulan en analógico, aunque la señal RF utilizada para ello lleve carga digital.

No se regenera la señal, desde que sale del CPO (para la señal TV Broadcast) o del Nprim (para la señal Narrowcast), hasta que llega al CPE de cliente.

La señal se convierte de eléctrico a óptico, de óptico a eléctrico, se amplifica en óptico y se amplifica en RF. En todas esas conversiones la señal pierde calidad.

Así que uno de los objetivos al diseñar una red HFC es empeorar lo mínimo la señal para que llegue con la calidad necesaria al CPE (Customer Premises Equipment) de cliente.

El tipo de modulación también condiciona la SNR mínima para obtener un BER deseado. Cuanto mayor es el orden de la modulación QAM utilizamos más símbolos y tenemos una mayor eficiencia, pero los símbolos se encuentran más próximos entre sí y esto se convierte en una mayor sensibilidad al ruido, por lo que necesitamos incrementar la SNR con la modulación para un mismo Bit Error Rate. (29)

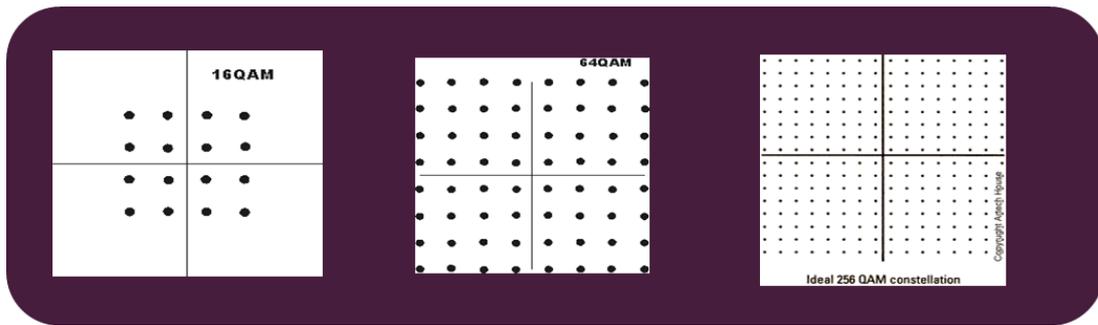


Ilustración 35: tipos de modulación

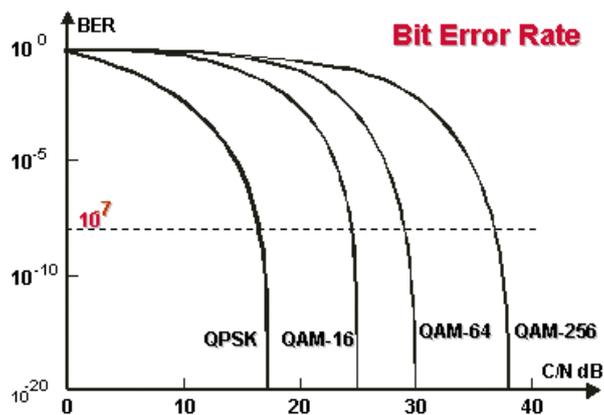


Ilustración 36: BER para distintas modulaciones

Los valores deseados en nuestra red son de 38-40dB. Un funcionamiento óptimo se garantiza por encima de 35 dB. Aproximadamente por debajo de 31-32 dB la pérdida de paquetes se dispara. El cliente tiene serias dificultades para navegar y el equipo corre riesgo de perder la portadora.

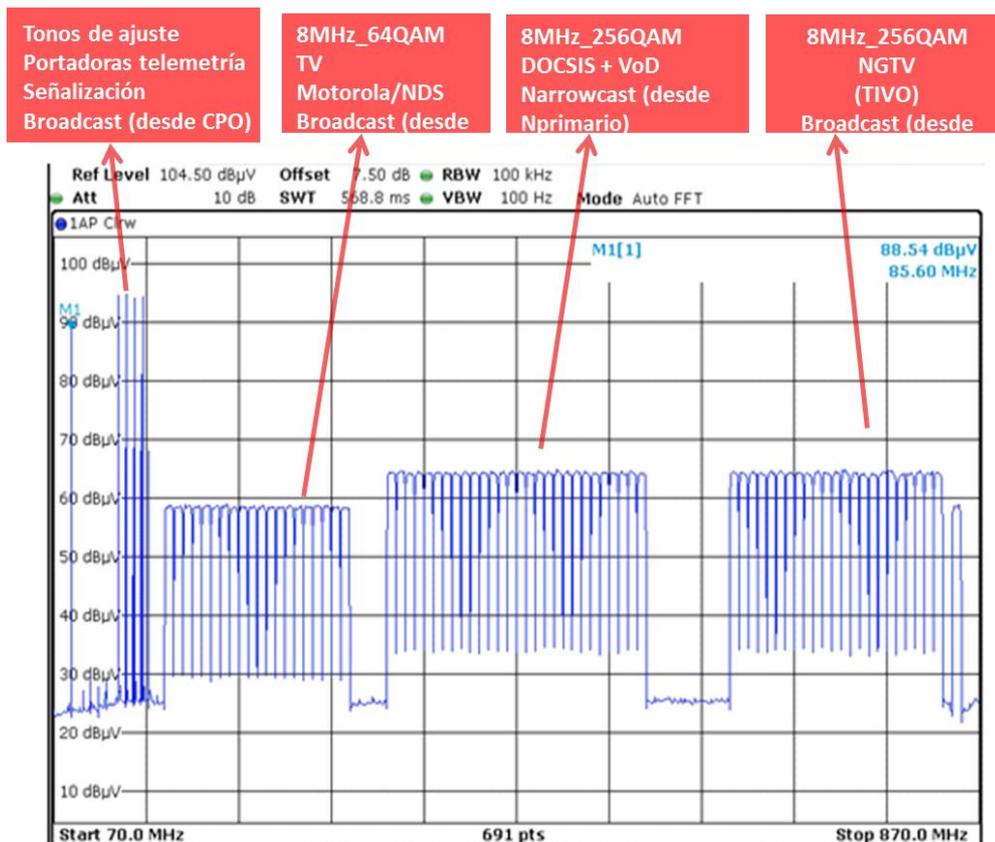


Ilustración 37: espectro señal descendente

Si sólo está enganchado a una portadora, y dicha portadora tiene SNRDesc muy mala se podrá caer (paso a offline). Si está enganchado a más portadoras (w-online) perderá esa portadora y pasará a p-online.

Los equipos de servicios de televisión presentan una sensibilidad similar en cuanto a umbrales, aunque los efectos negativos de una baja MER en este caso son las pixelaciones, congelaciones de imagen o, en el peor de los casos, pérdida de imagen.

Tanto en las portadoras DOCSIS como en servicios de televisión podemos encontrar escenarios con SNR buena y altos FEC provocados por interferencias de banda estrecha muy intermitentes en el tiempo o muy inestables en potencia.

Los principales defectos que podemos encontrar en la red con este parámetro son los siguientes:

- Amplificador caído:

Un amplificador presenta mucho peor comportamiento que los demás. En columnas vemos PRx, en filas amplificadores y en el cruce vemos el valor de SNRDesc asociado, bajo un formato condicional para facilitar la lectura.

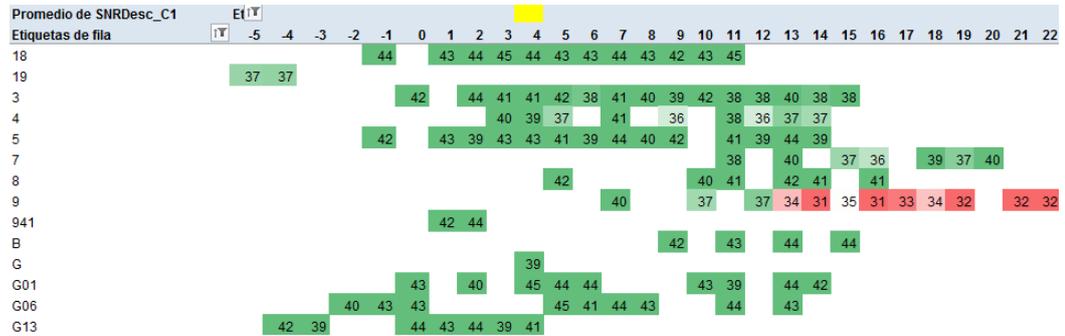


Ilustración 38: Nodo con amplificador caído.

- Amplificador con valle en frecuencia:

Si en las filas ponemos la frecuencia en vez del amplificador podemos detectar comportamientos anómalos que pueden ser de la OLT o venir de niveles superiores, como el EQAM.

- Fallo en el EQAM:

El EQAM es el modulador que reparte la señal desde la cabecera a todos los grupos de inserción que dan servicio a los nodos terminales. Si detectamos un problema similar en frecuencia de nodos de una misma cabecera podemos sospechar que éste tiene una raíz común. En ese caso vemos en las filas las salidas de los interfaces del EQAM y sus frecuencias asociadas para determinar que es un problema de este dispositivo completo o de una de sus tarjetas de salida.

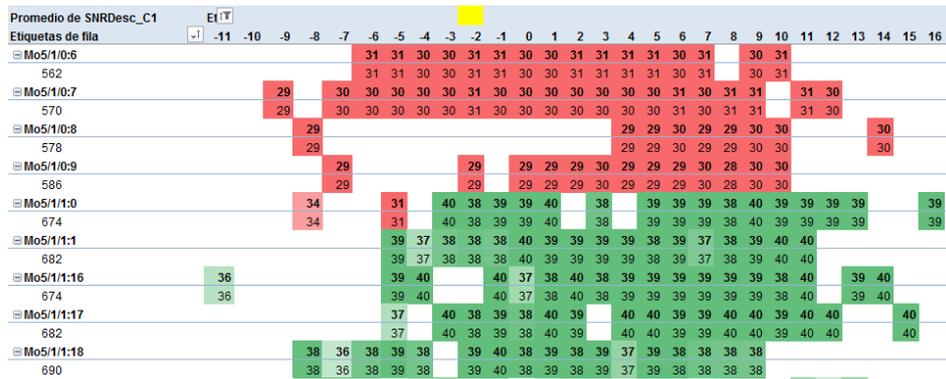


Ilustración 39: distribución SNR por canales del EQAM

- Instalación del cliente:

desde el TAP hasta el cliente puede haber distintos elementos que deterioren la señal. Por ello, se diseña la red con un margen de 8 dB, para prever los posibles problemas derivados de la instalación en casa del cliente. El nivel mínimo en el TAP se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Nivel mínimo en TAP} = \text{Nivel mínimo en cliente} + [(\text{Atenuación del RG-6 (dB/m)}) * (\text{metros necesarios para llegar al piso más alto servido por el tap})] \quad (31)$$

### 2.2.1 Fuentes de Ruido

- Ruido térmico: aportado por los equipos activos y relacionado con la carga de canales.
- Ruido ingress: ruido que se cuela en la red por puntos de mal apantallamiento o que se genera dentro de ella por desadaptaciones de impedancia.

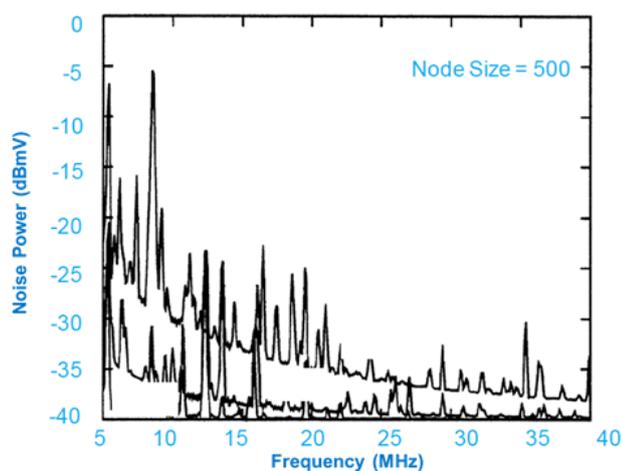


Ilustración 40: Figura de ruido ingress

El ruido ingress es mayor a bajas frecuencias, por eso son las que se utilizan en el canal Upstream, con menor importancia en el servicio que el canal descendente.

Para paliar este problema se realizan limpiezas de TAPs. Durante un tiempo las bajas de clientes se dejaron sin cargar, por lo que eran lugares susceptibles de convertirse en entradas de ruido. Lo ideal es cargar estos TAPs para mejorar el comportamiento de la red.



Ilustración 41: Taps y conectores

Realizamos una prueba para ver qué efecto tenía esta limpieza en la SNRUp. Además de cargar los TAPs, se realizaron aprietes de conectores, flojos en algunos casos y causantes en gran medida de ruido también.

Los resultados en un nodo de La Rioja fueron estos:

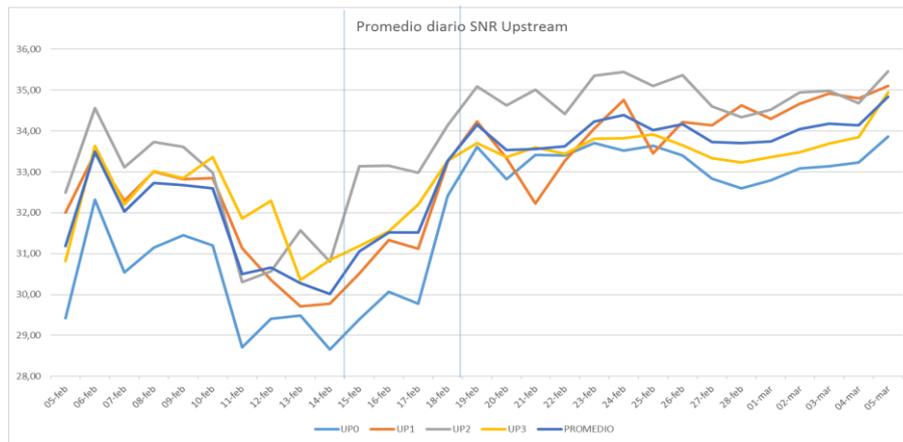


Ilustración 42: prueba limpieza de TAPs

Una mejora promedio de 3 dB y un descenso del rizado de SNRUp.

- Distorsiones no lineales: relacionado con la calidad de los equipos y los rangos de trabajo.
- Efectos no lineales de propagación óptica: por encima de 80 kms, aunque se puede llegar a alcanzar distancias de 150 kms. (32)

### 2.3 SNRup

Es la relación señal a ruido en el puerto upstream de la CMTS de la señal transmitida por los CMs calculada por la CMTS a través de unas tablas de equivalencia BER/SNR, ya que la señal recibida es digital y la SNR es una medida puramente analógica.

La CMTS recibe señales a ráfagas provenientes de diferentes CMs de forma secuencial en cada frecuencia. El ruido presente en el puerto upstream es la acumulación de todos los ruidos que se cuelan por la red y clientes de los nodos combinados en retorno en esa frecuencia.

Idealmente, todos los CMs llegan con el mismo nivel a la CMTS, por lo que la principal variación de la SNR es el suelo de ruido bajo de la señal. Este ruido afecta a todos los CMs por igual, ya que su PTx, alta o baja,

está ajustada para llegar con la misma potencia a la CMTS y el ruido es el mismo en la entrada de la interfaz para todos.

Hoy en día tan sólo se utilizan modulaciones 64QAM para las señales en ascendente y aproximadamente por debajo de una SNR de 21dB se disparan los errores incorregibles y el riesgo serio de degradación del servicio. El umbral de alarma se sitúa en 23 dB para evitar que el usuario llegue a sufrir los efectos de un servicio deteriorado.

La banda de frecuencias utilizada en ascendente en DOCSIS 3.0 llega hasta 65MHz. En esta banda hay muchos tipos de ruidos interferentes y otros que se generan en el propio cable. Esto hace que la SNR<sub>Asc</sub> sea el parámetro más inestable de todos y el que suele afectar más a la conectividad de los CMs.

El ruido tiene su origen normalmente en efectos de reflexiones en desadaptaciones de impedancia en las conexiones, en interferencias del aire que se cuelan en el coaxial por puntos de mal apantallamiento y en algunas ocasiones por efectos de saturaciones de equipos activos que impactan en el nivel de ruido térmico. La forma del ruido en el dominio de la frecuencia es muy variada y su variación en el tiempo también.

Los ruidos de banda estrecha tienen que tener mucha potencia para generar afección en SNR o incrementar los paquetes perdidos.

Los ruidos con nivel muy variable tienen fuerte impacto en la pérdida de paquetes, pero no en la SNR leída por la CMTS.

Los que más impacto provocan al servicio son los ruidos de fondo alto en toda la banda de retorno ya que afectan a todas las portadoras de upstream por igual eliminando la redundancia de frecuencia. (33)

### 2.3.1 FEC ascendente

En el interfaz coaxial entre el CM y la CMTS se utilizan algoritmos de corrección de errores y otros procesos que intentan evitar la retransmisión de datos por pérdida de paquetes en el interfaz cable y mantener la conectividad en pie. A pesar de estas medidas, el canal de retorno ocupa la zona del espectro más ruidosa e inestable y sufrirá deterioros que afectarán tanto la SNR de la señal recibida en CMTS como de los paquetes corruptos que se pueden corregir y los incorregibles. Estos parámetros también pueden afectar al usuario sin perturbar la SNR, aunque suelen tener gran relación. A nivel de interfaz upstream tenemos disponibles el % de paquetes corregidos respecto a los libres de errores (FECc) y el % de paquetes incorregibles respecto a los libres de errores (FECi). Estos parámetros los podemos consultar por nodo o por CM individual. Normalmente una mala SNR precede altos % de FECc y FECi. Podemos resumir que baja SNR implica altos FEC pero altos FEC no implica baja SNR.

Un caso en el que nos podemos encontrar este segundo escenario es en la presencia de una señal interferente de banda estrecha estable y de alto nivel, que genera FEC y afecta poco a la SNR. Si tenemos distorsiones de fase en determinadas frecuencias tendremos altos FEC y la SNR tampoco se verá afectada.

Estos últimos escenarios son altamente sensibles al orden de modulación QAM. Pasar de 64QAM a 16QAM baja de forma severa la ratio de FEC en ese tipo de escenarios. Una herramienta de prevención automática de errores llamada SAMIR se basa en este cambio de modulación, además de un ajuste de potencia. La veremos más adelante en este apartado. (33)

### 2.3.1.1 Giro



Giro es una herramienta de monitorización de los parámetros de retorno. Podemos ver los parámetros de SNR, FEC, equipos activos... También podemos ver si un nodo se encuentra combinado con otro en retorno y ver todos estos parámetros por portadora de Upstream. Vamos a ver un nodo con un mal comportamiento y después uno con buen comportamiento.

Lo primero que vemos en este nodo defectuoso es la variación de SNRUp. No es nada estable y tiene picos muy pronunciados. Buscamos patrones de repetición para saber si es ruido ingress o externo.

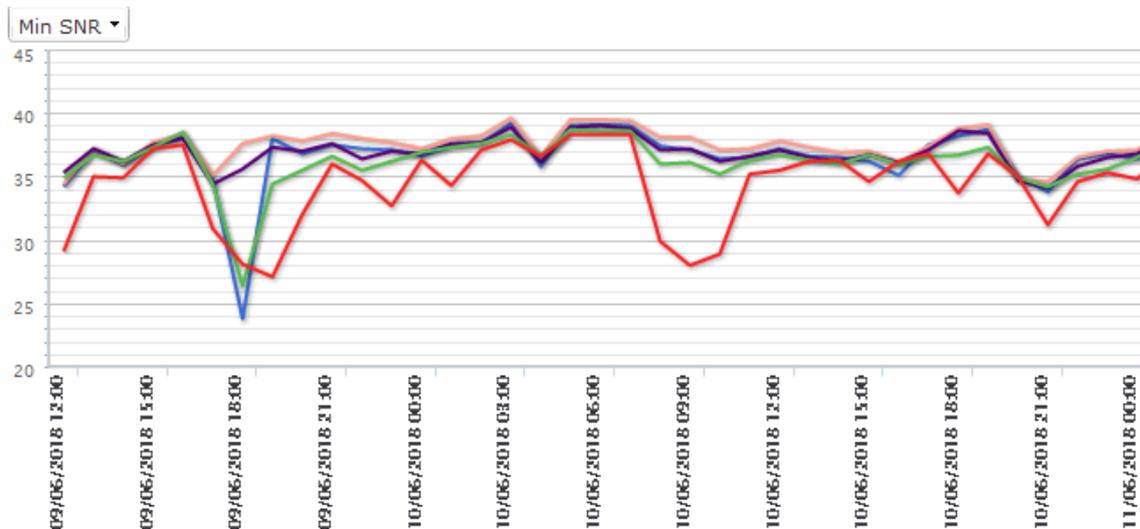


Ilustración 43: mínimo SNR en los canales de upstream de un nodo

Como podemos ver, cuando la SNR cae los errores suben. Hasta cierto punto el CRC será capaz de corregir los errores, pero en caídas acusadas los errores serán incorregibles.

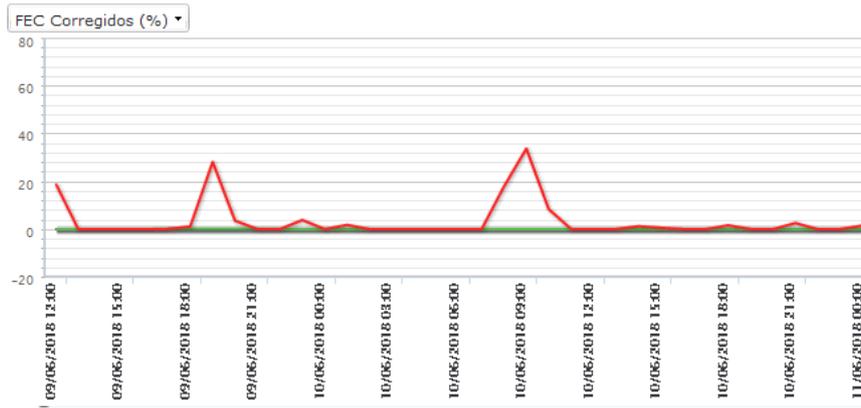


Ilustración 44: FEC corregidos

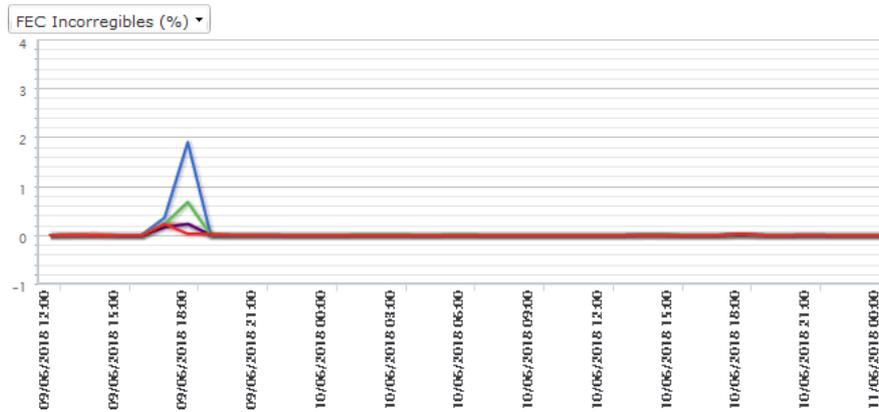


Ilustración 45: FEC incorregibles

En cambio, esta es la apariencia de un nodo en muy buen estado, con una SNR superior a 40 dB y sin errores.

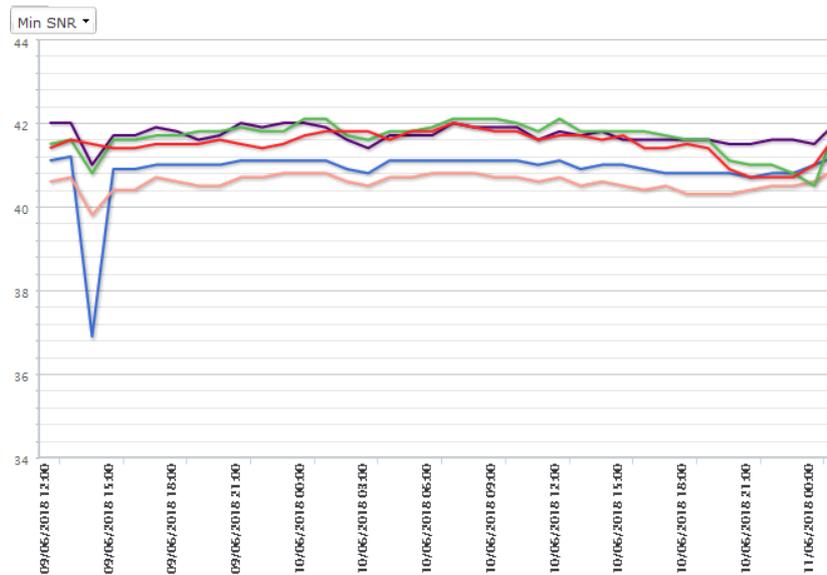


Ilustración 46: SNR óptima de un nodo

Giro también nos ofrece otro tipo de informe de cada canal ascendente. La siguiente imagen nos muestra un canal de un nodo con problemas de ruido. En este informe vemos:

- CM Upstream: CMs activos muestreados cada 5 minutos.
- FEC/sg.
- SNR
- % FEC, diferenciando corregibles e incorregibles.
- Tipo de modulación: vemos que se han producido dos cambios en la modulación de este nodo. Esto quiere decir que por condiciones de ruido alto ha entrado SAMIR, herramienta preventiva para las incidencias de ruido ascendente que veremos a continuación. (34)

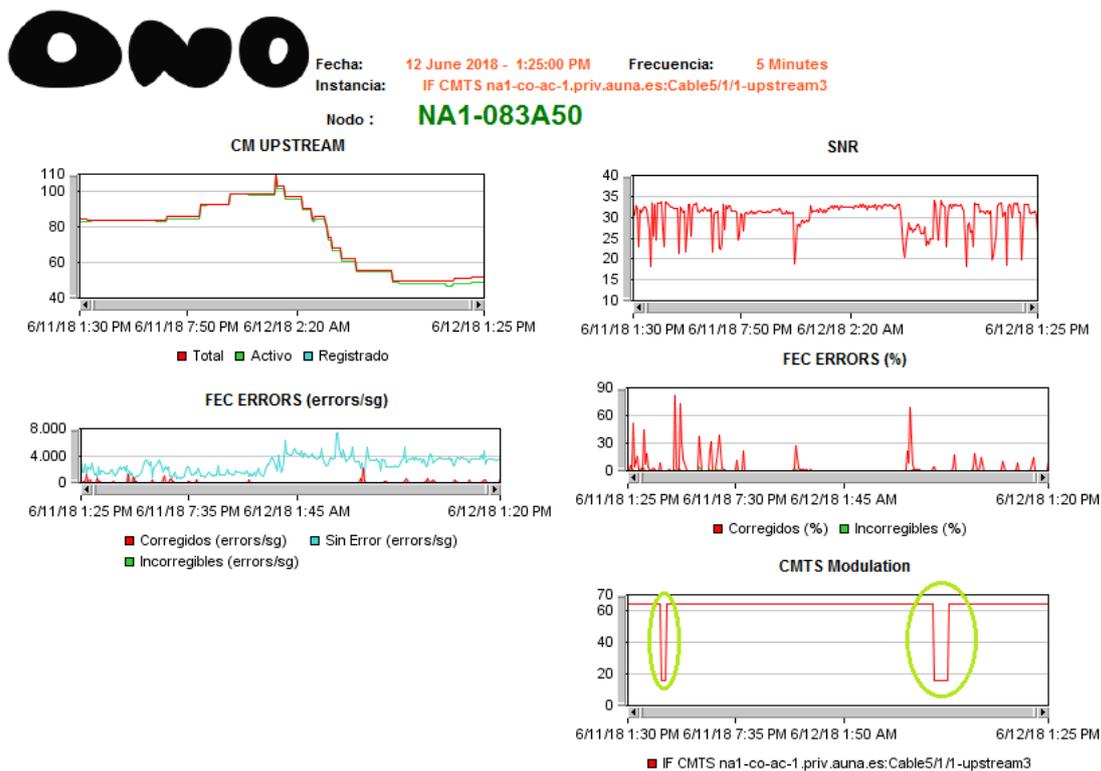


Ilustración 47: informe GIRO

### 2.3.2 SAMIR

SAMIR son las siglas de Sistema Automático de Mejora de Inmunización al Ruido. Es un script que actúa sobre todas las CMTS de la planta lanzado externamente desde un módulo de la herramienta Thot. Este script lee cada 5 min la SNR de todos los puertos Upstream y las alarmas sobre altos FEC de Giro y en base a unos umbrales, que luego veremos, va siguiendo un algoritmo que va incrementando el PWL del puerto upstream y/o cambiando la modulación del upstream afectado por ruido severo.

Al ser automático funciona 24h/365d y garantiza que una vez no esté presente el ruido se retorna a las condiciones estándares de funcionamiento en PWL y modulación.

No se permite el cambio de modulación por causa altos FEC si el upstream se encuentra en condiciones de alta carga de tráfico. Si en cambio la causa es muy baja SNR, no se tiene en cuenta el tráfico y se cambia la modulación ya que el riesgo de caída de CMs es muy alto.

La implementación de este sistema supuso una caída drástica de las averías con afección en cliente, ya que ofrece una solución temporal hasta que el problema se solucione completamente. La robustez de la red es la principal característica beneficiada.

Vamos a ver qué algoritmo sigue para actuar la versión actual de SAMIR:

- Toma la lectura de SNR y FEC cada 5 minutos.
- Si la lectura se encuentra entre 22 y 18 dB, espera 30 segundos y toma otra lectura. Si en esta segunda lectura sigue por debajo del umbral sube el Power Level 5 dB. Al aumentar PTx aumentamos la SNRUp.
- Se siguen tomando medidas cada 5 minutos, y si continua por debajo del umbral se cambia la modulación de 64 QAM a 16

QAM. Esta medida también mejora la SNR, pero disminuye la capacidad del enlace.

- Para que se desactive SAMIR se tienen que tomar tres muestras consecutivas (5 minutos entre muestra) con lecturas por encima de 29 dB.

Hay veces que es útil bloquear SAMIR, como cuando se está migrando un nodo DOCSIS 3.0 a 3.1, o se está haciendo una recombinación. Son situaciones en las que se van a dar anomalías y ruidos controlados, por lo que no merece la pena que este script siga funcionando. De esta manera también comprobamos cómo quedan los parámetros después de la intervención, sin que estos se vean mejorados por la prevención de SAMIR. Este bloqueo se hace a través de la herramienta Thot. (35)

## 2.4 Flaps

Como hemos visto en las consultas de Thot, los flaps son unos contadores de situaciones anómalas que la CMTS tiene para cada CM individual.

Existe un contador resumen y otros contadores individuales:

- **Reajustes de potencia de transmisión (PAdj):** Cada vez que el CM llega al upstream a un nivel con más de x dB (configurables en CMTS y llamado power level) de diferencia con respecto al power level la cabecera manda reajustar potencia al Cmodem e incrementa o decrementa en uno el Padj y Flaps.
- **Signo!:** Identifica aquellos CMs que están o han estado en las últimas horas transmitiendo a su máxima potencia y ocasionalmente no han podido entrar, pese a los intentos de reajuste, en la ventana típica del power level de la tarjeta upstream.
- **Relación Miss/Hit.** La cabecera pregunta a cada Cmodem mediante un HIT cada 10-15 seg (depende del nº de CMs en el downstream) si está vivo. Si el Cmodem no responde pone un

MISS e intensifica cada segundo el envío de HIT. Si aparecen 6 MISS consecutivos se incrementa el contador de flap en 1. Si hay 15 MISS consecutivos lo da como offline.

- **Inserciones (Ins):** Por defecto se configura cada 180 seg el tiempo máximo que tarda un Cmodem en ponerse online desde que inicia el diálogo con la cabecera. Si antes de que transcurra ese tiempo el CM se pone online y se cae, se vuelve a arrancar el diálogo y se incrementa en uno el Ins, porque se ha producido una inserción fallida.
- **Contador de Flaps total=** Ins+Padj+bloques de 6MISSes consecutivos.

La mayoría de veces, los nodos afectados en flaps tienen en su mayoría P-adj. Esto nos indica que hay alguna fuente de ruido variable que está haciendo que los equipos ajusten potencia. Puede que este ruido no llegue a afectarnos a niveles preocupantes de SNRUp, pero nos da indicios de que algo no está funcionando correctamente y podemos revisarlo antes de que sea tarde. (28) (33) Como pequeño resumen de los KPIs y su impacto tenemos esta tabla:

		CORTE	DEGRADACIÓN
<b>HFC</b>	<b>SNR Upstream - DOCSIS</b>	Upstream con USNR <21	Upstream con USNR >21 hasta <28.
	<b>SNR Downstream - DOCSIS</b>	Nodos con >50% de CMs con DSNR <33db	Nodos con >5% de CMs con DSNR <33db
	<b>SNR Downstream - TV</b>	Nodos con >50% del nodo con DSNR <33db	Nodos con >5% de STB con DSNR <33db
	<b>Ruido FEC</b>	Ups con FECl >1,5% o FECC >80% +30 min	
	<b>PTX CPEs DOCSIS</b>	Nodos con >3 CM caídos por potencia	Nodos con >30% de CMs con PTX>50dbm

Tabla 4: Afección KPIs

## 2.5 Otros parámetros y herramientas

### 2.5.1 Pathtrack

**VIAXI PathTrak™** Return Path Monitoring System

PathTrak es un sistema de monitorización del canal ascendente. Nos es muy útil para analizar el ruido de tipo Ingress o para ver en un nodo combinado ruidoso cuál de los dos es el que está insertándolo. Lo primero que hacemos es seleccionar la cabecera y después la tarjeta del nodo que queremos visualizar. (36)

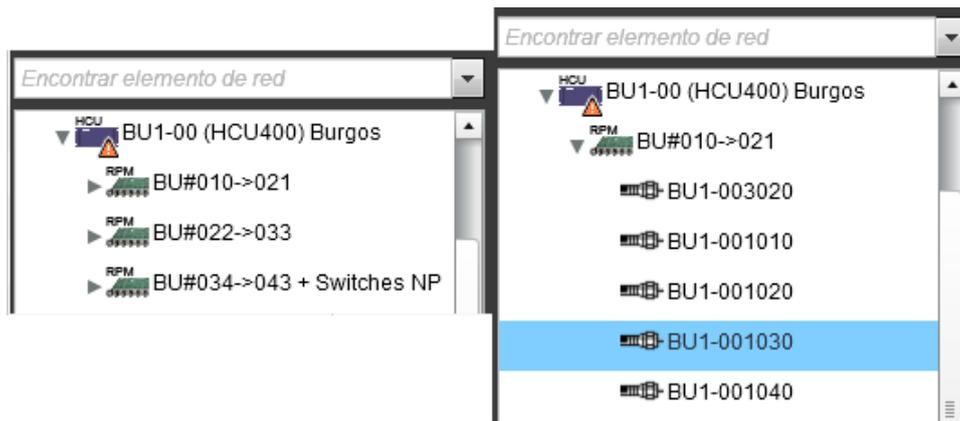


Ilustración 48: selección de nodo en PathTrak

Una vez hecho esto podemos usar el analizador de espectros en remoto, para ver niveles de ruido, máximos, mínimos y estado de las portadoras.

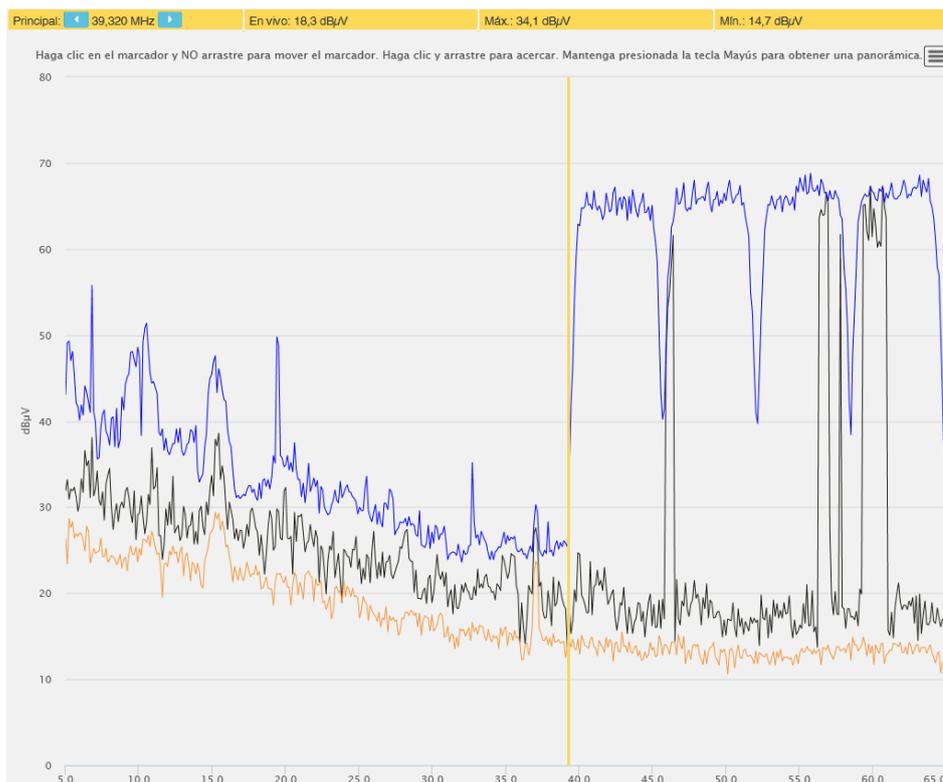


Ilustración 49: espectro completo de PathTrak

La línea azul nos muestra el máximo acumulado, la negra es la potencia instantánea y la naranja la potencia mínima acumulada. Podemos distinguir claramente las 4 portadoras de ascendente. También vemos como el ruido aumenta según baja la frecuencia. Si nos fijamos en el mínimo podemos ver una interferencia en 37 MHz. Otra medida que podemos extraer de un simple vistazo es la SNR de la señal, que en este caso es de unos 40 dB.

En la siguiente captura vemos el espectro desde 30 hasta 45 MHz para ver la SNR de la primera portadora y la interferencia en 37 MHz.

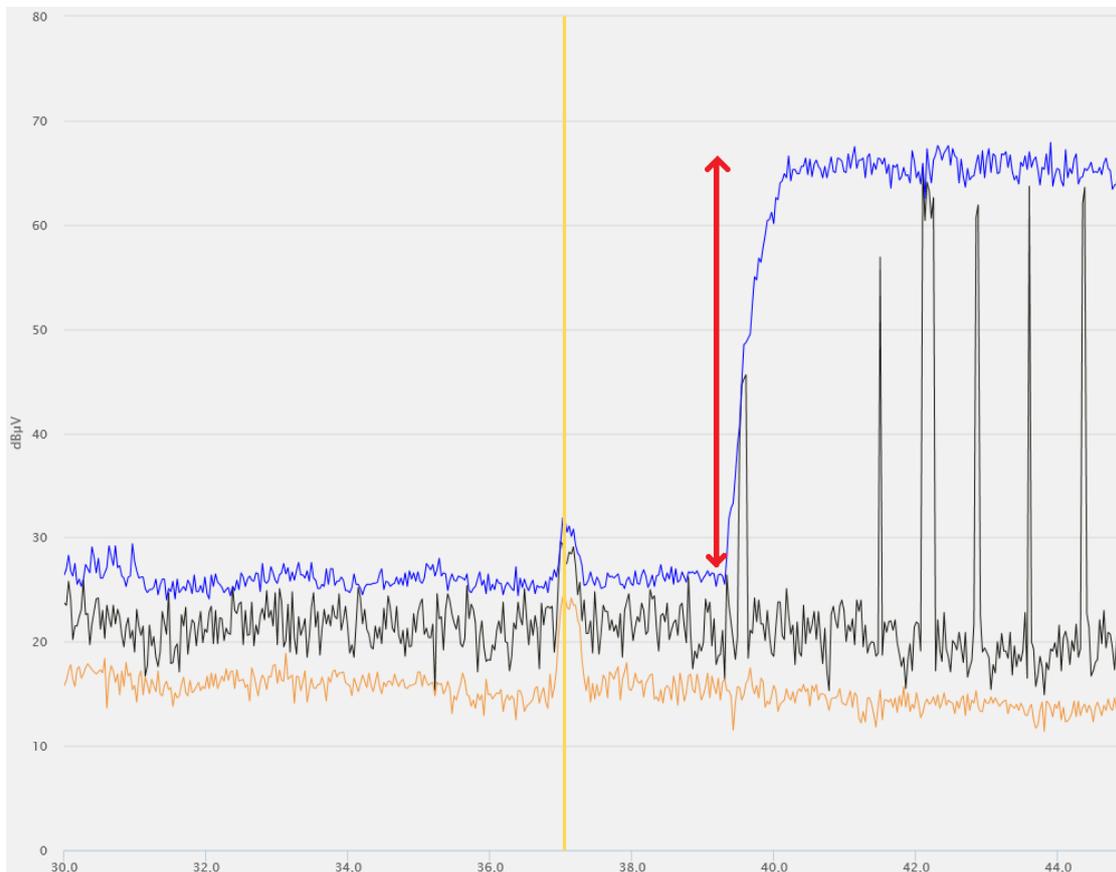


Ilustración 50: detalle de la primera portadora en PathTrak

El nivel máximo de ruido ronda los 25 dBµV, y la señal está en niveles de 65 dBµV, por lo que tenemos una SNR<sub>up</sub> de aproximadamente 40 dB. El Power Level de la cabecera suele estar configurado a 5 dBm, que concuerda con lo que vemos en esta

imagen. Vemos en detalle la interferencia, que en el registro de mínimo supera por 10 dB al ruido de las bandas próximas.

PathTrak tiene opciones de muestreo y resolución frecuencial como cualquier analizador que podamos utilizar en el laboratorio:

**Atenuación:**

10	0 - 50 db
----	-----------

**Ancho de banda de resolución:**

300 kHz	▼
---------	---

**Ancho de banda de video:**

30 kHz	▼
--------	---

**Tiempo de intervalo:**

20	0 - 100000 $\mu$ s
----	--------------------

Actualizar

*Ilustración 51: detalle opciones PathTrak*

Existen muchas interferencias identificadas y a las que prestamos especial atención:

- **27 MHz:** City Band, la banda de frecuencias de uso libre para comunicación civil y radioaficionados.
- **31,5 MHz:** frecuencia de transmisión de teléfonos inalámbricos domésticos.
- **40,7 MHz:** portadora de la policía.
- **48,25 MHz:** frecuencia de vídeo canal E2.
- **50 MHz:** frecuencia de telemetría de retorno.
- **55,25 MHz:** frecuencia de vídeo canal E3.

## 2.5.2 GIS

GIS es una herramienta que permite ver la red a nivel físico. Sobre el catastro de la ciudad esta herramienta ofrece información de medidas, cables, amplificadores, splitters y demás componentes empleados. Lo primero que hacemos para consultar datos de una zona es introducir el nodo terminal que queremos ver en detalle.

The screenshot shows a search interface with three tabs: 'Search', 'Find', and 'Explorer'. The 'Search' tab is active. Below the tabs is a dropdown menu labeled 'Bucador por Nodo Terminal (SCD)'. Underneath is a text input field labeled 'Nodo Terminal / Name:' containing the value 'BU1-001020'. Below the input field is an 'Order by' section with a dropdown menu set to '<None>' and two icons for ascending and descending order. At the bottom are 'Reset' and 'Search' buttons, and a pagination indicator showing '<< Step 1 of 1 >>'.

Ilustración 52: consulta de nodo en GIS

Nos aparece un listado de coincidencias y seleccionamos el nodo para que pase a mostrarlo en pantalla. Lo primero que nos mostrará será la zona que abarca el nodo en el catastro del municipio correspondiente, y sobre este podemos añadir la información que necesitemos ver. En la siguiente ilustración vemos algunas de las opciones:

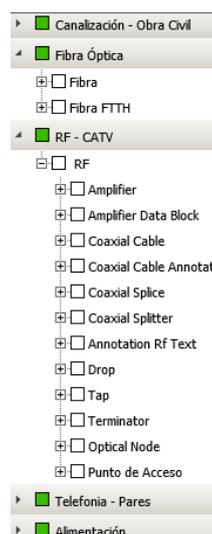


Ilustración 53: opciones de visualización GIS

Esta herramienta es densa y ofrece mucha información. Podemos ver el tipo de cable y su longitud entre componentes, el modelo de amplificador utilizado y sus características en una pequeña ficha, el tipo de derivadores y taps utilizados, etc. Así, podemos hacer de manera inversa el proceso de diseño, para comprobar si alguna anomalía responde a mal funcionamiento de componentes o a mal diseño si su desempeño irregular se prolonga en el tiempo. Hemos sido capaces de identificar problemas de diseño tras estudios de algún nodo y problemas como inversión de bocas de splitters o amplificadores violando el número máximo permitido en cascada. (36)

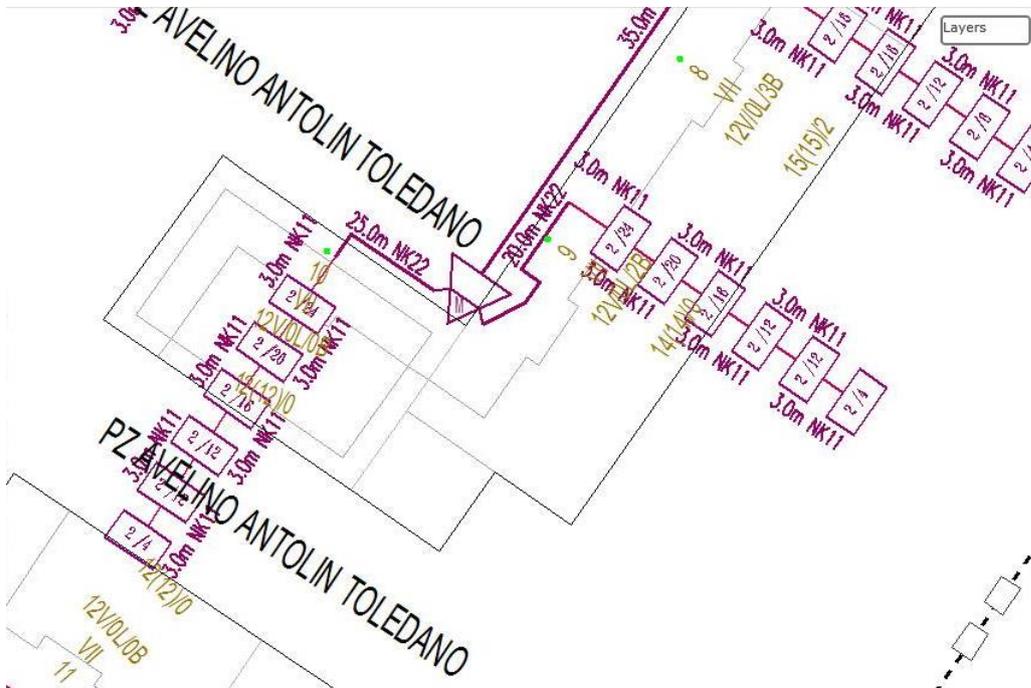


Ilustración 54: sección de nodo terminal en GIS

Cuando hacemos el análisis de un nodo lo reducimos a un esquema simple de cables y componentes que facilite la comprensión. Sobre este tipo de plano lógico es mucho más fácil trabajar, e incluso exportarlo a otras herramientas para ofrecer simulaciones de red.

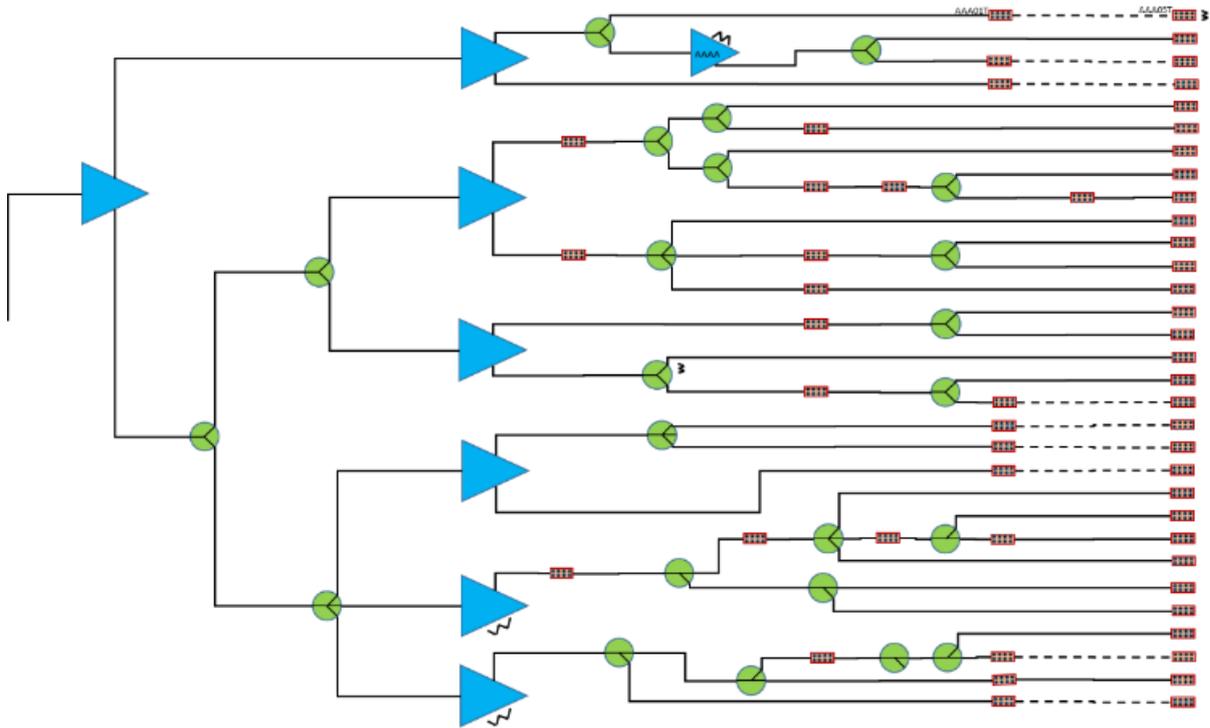


Ilustración 55: esquema simplificado red HFC nodo

### 2.5.3 MAPs2U

Maps2U es una herramienta de visualización de infraestructura a un nivel superior que el de GIS. MAPs2U es mucho más útil para ver la distribución nacional, regional y metropolitana de la red, ya que está construida sobre los mapas de Google y ofrece un entorno visual mucho más amigable y cercano.

<input type="checkbox"/>	▶ Infr. Cable	●	×
<input type="checkbox"/>	▶ Infr. VF Emplaz.	●	×
<input type="checkbox"/>	▶ Redes Fibra	●	×
<input type="checkbox"/>	▶ Infr. VF FTTH	●	×
<input type="checkbox"/>	▶ Infr. VF (IMap)	●	×
<input type="checkbox"/>	▶ Wifi	●	×
<input type="checkbox"/>	▶ FTTH VDF Mutualiz.	●	×
<input type="checkbox"/>	▶ FTTH Orange Mutual.	●	×

Ilustración 56: opciones de visualización de MAPs2U

La que más utilizamos en nuestro departamento, optimización de red fija, es infraestructura de cable. Otras opciones también son

interesantes, como las redes de fibra, que incluyen redes troncales, o la parte de la red que tenemos mutualizada con otros operadores.

A veces recibimos incidencias asociadas a una dirección física y necesitamos ver a qué nodo corresponde esta dirección. Gracias a esta herramienta podemos ver la ubicación de los nodos y también su huella, es decir, el territorio dentro del que los usuarios dependen de ese nodo terminal. (36)

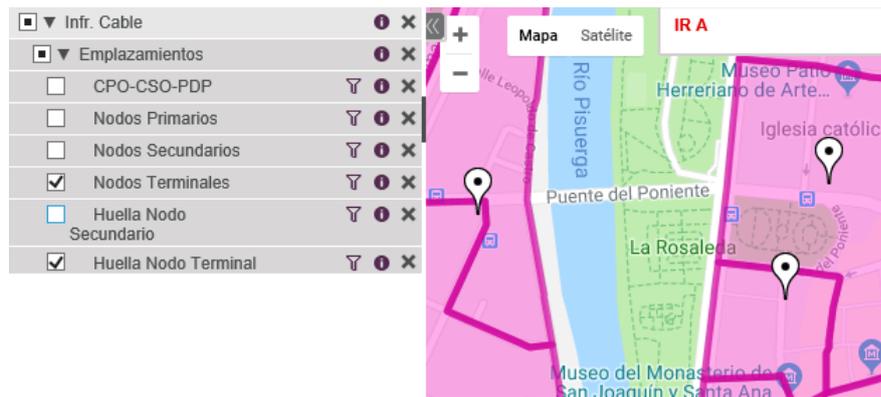


Ilustración 57: huella de nodo terminal en MAPs2U

#### 2.5.4 Zhilabs

Zhilabs es una herramienta que nos permite analizar otros parámetros que no se encuentran entre los KPIs, pero que tienen también importancia e impacto en cliente. Zhilabs nos muestra qué tal se comporta la red en términos de latencia y pérdida de paquetes.

Para medir la latencia se hace un Ping desde los enrutadores de alto nivel de la red Vodafone. Este mensaje ICMP va por la red troncal, y se redirige hasta que llega al equipo deseado. El equipo responde y se mide el tiempo que tarda en llegar el mensaje desde el envío de la petición. En HFC tenemos buenos valores hasta 60 ms, en cambio la red de fibra óptica ofrece unas características muy superiores, en torno a los 10 ms.

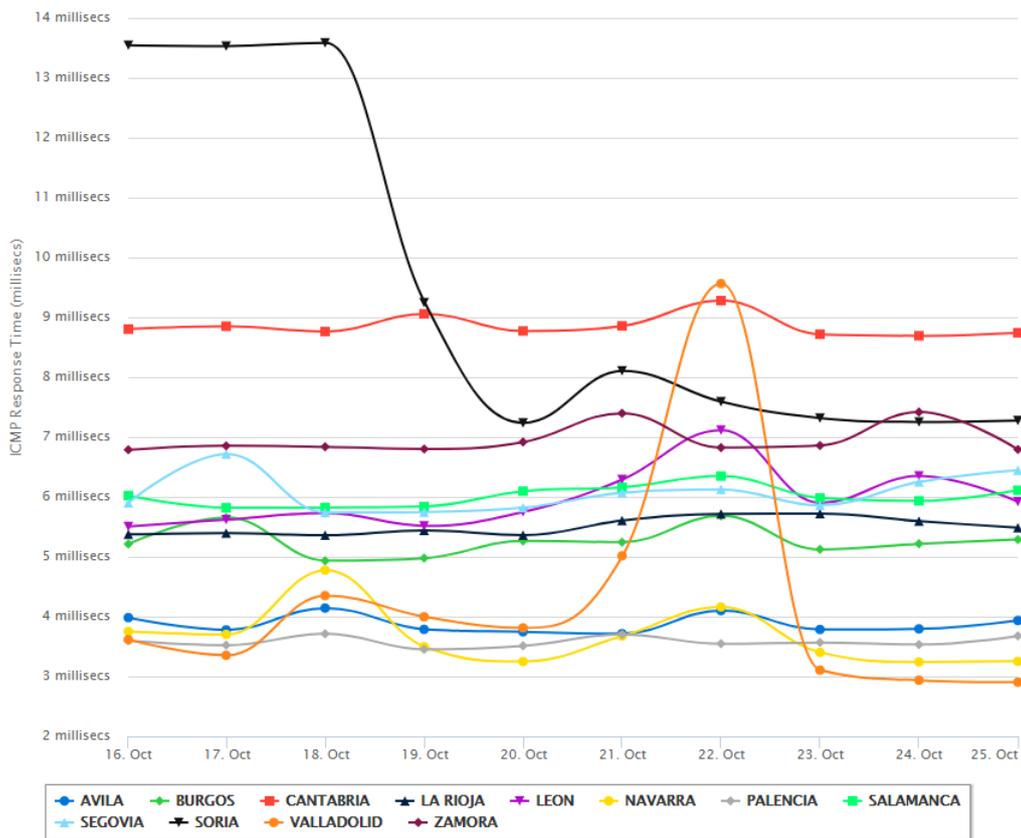


Ilustración 58: Latencia en FTTH por provincias

También lleva un control de los mensajes ICMP que quedan sin respuesta para contabilizarlos como pérdida de paquetes. Estas pérdidas no se registran como errores por lo que pueden pasar inadvertidas en los KPIs de FEC, pero sí que pueden afectar al cliente. El comportamiento de la fibra óptica también es superior al de la red HFC en este aspecto. (36)

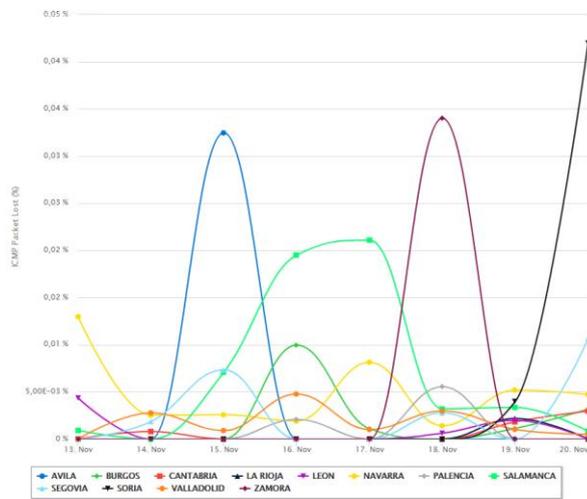


Ilustración 59: pérdida de paquetes FTTH por provincias

### 3. Recombinaciones

Las necesidades de los usuarios aumentan con el tiempo. Se exige menor latencia y mayores velocidades continuamente, tanto en descendente, como en ascendente. Un factor diferenciador entre compañías para marcar la diferencia es el enlace simétrico, que usuarios de alto consumo (conocidos como heavy users) con NAS, servidores o jugadores necesitan para hacer el uso de la red que desean.

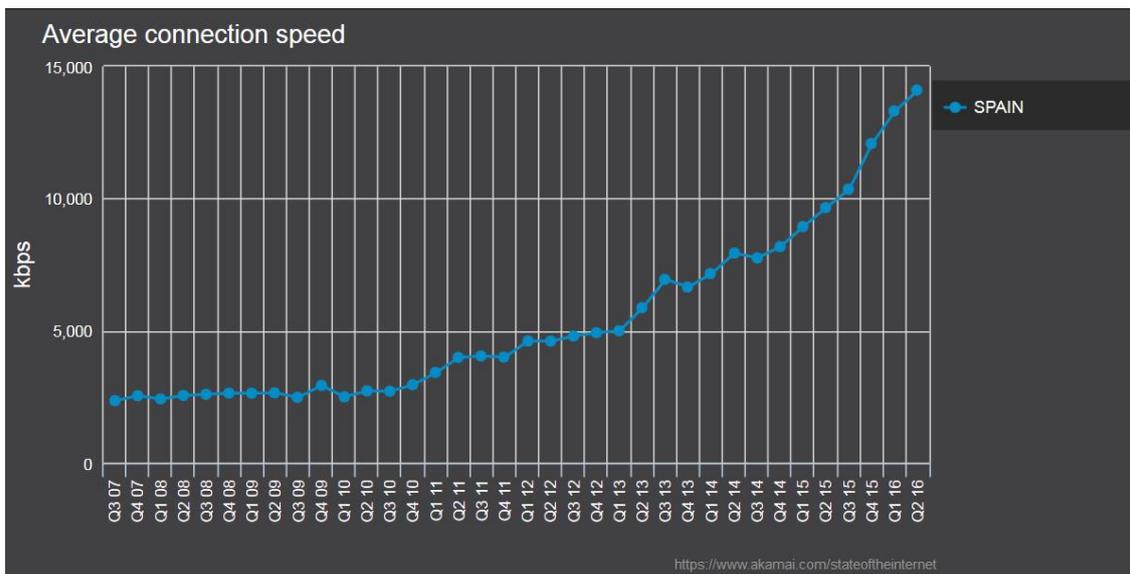


Ilustración 60: evolución de la velocidad de conexión media en España

Tenemos que ser capaces de prever esta evolución en la demanda para evitar saturaciones de enlaces y seguir ofreciendo un producto de calidad y competitivo.

#### 3.1 Orizone: monitorización del tráfico.

Orizone es una herramienta que nos permite analizar el uso de los enlaces a la red troncal de las CMTS. Son enlaces Gigabit y cada CMTS tiene una configuración de enlaces propia. En la pantalla de inicio de Orizone podemos ver un pequeño resumen de datos de tráfico:

- Accesibilidad de equipos.
- Accesibilidad de enlaces.
- Equipamiento monitorizado.
- Equipos sin conectividad.

- Enlaces "down" o caídos.
- Alarmeros:
  - Top enlaces cargados:
    - Enlaces con pico de carga por encima de umbral establecido.
  - Top enlaces saturados:
    - Tiempo que llevan esos enlaces al 100% de capacidad utilizada.
  - Top enlaces indisponibles:
    - Tiempo que llevan esos enlaces sin posibilidad de conexión.

Estas tres últimas opciones son configurables para establecer umbrales y enviar correos automáticamente que avisen de las incidencias.

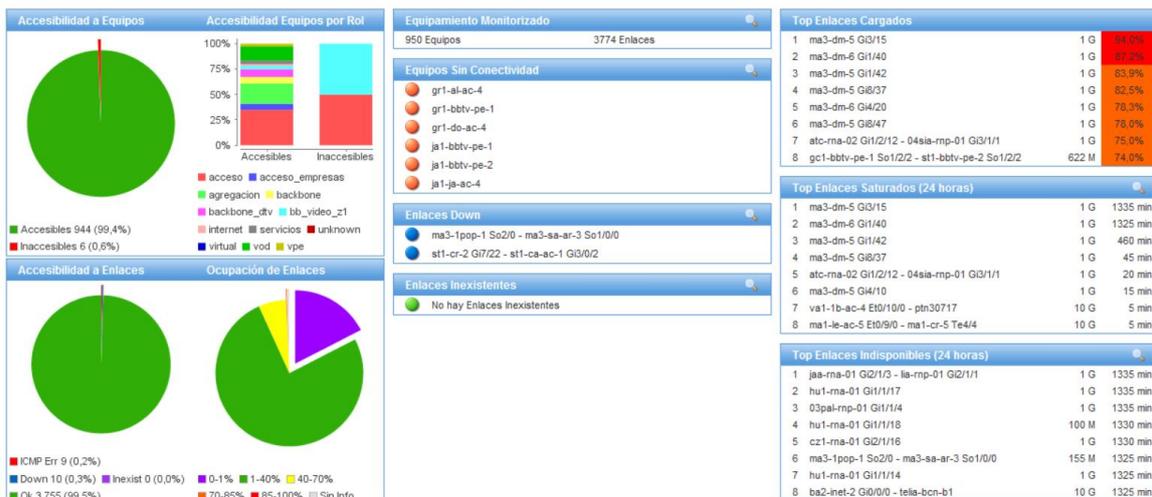


Ilustración 61: pantalla de inicio de Orizone

Lo más interesante de esta herramienta son los informes de ocupación, que se pueden calcular con un agregado diario, semanal o mensual. Vemos en la gráfica por colores la capacidad empleada de cada enlace y también podemos apreciar la periodicidad diaria del uso de los clientes de la red. En línea continua y muy bajos niveles tenemos representada la carga del enlace ascendente.

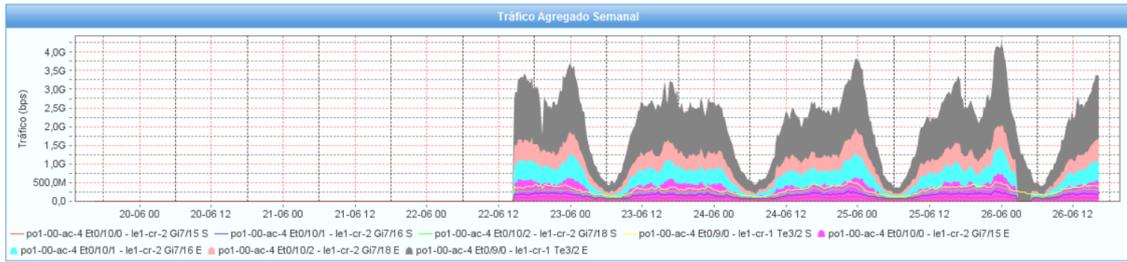


Ilustración 62: Tráfico agregado de todos los enlaces de una CMTS

El protocolo que rige el reparto de carga de los enlaces es IS-IS, un protocolo de la capa de red que configura los enlaces entre equipos intermedios de la red. Este protocolo puede hacer repartos equitativos indistintamente de la capacidad de los enlaces entre los que se haga el reparto o pueden realizarse repartos más eficientes gracias a las opciones de prioridad de los que dispone el protocolo.

Vamos a ver cómo se refleja una intervención en un enlace troncal de la CMTS en el informe de ocupación. En la primera gráfica vemos cómo se produce un corte en el servicio ascendente y descendente. En la segunda gráfica vemos cómo este tráfico se redirige y se carga en este enlace hasta que se recupera el primer enlace.

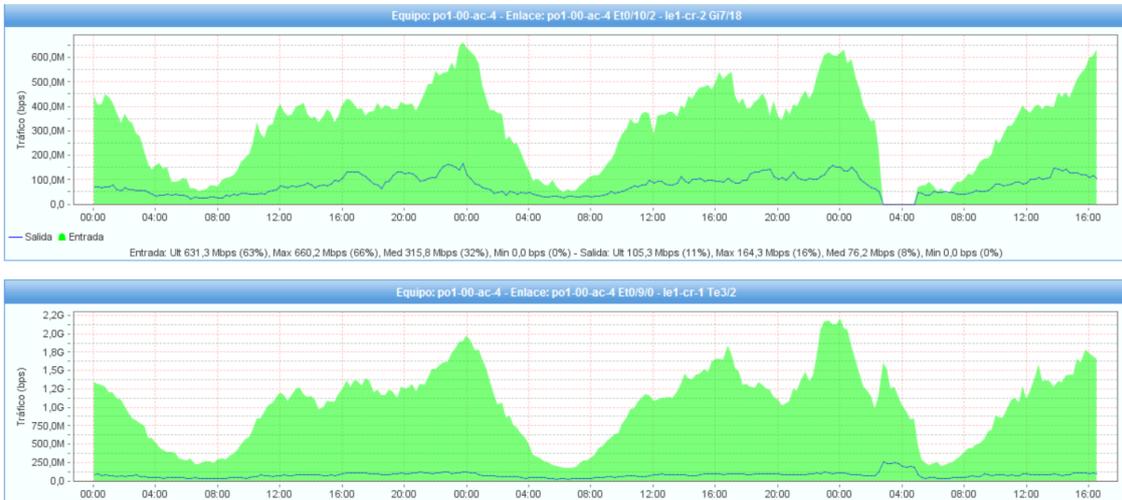


Ilustración 63: gráfica de ocupación de enlaces individuales

Los enlaces de subida están sobredimensionados, pero los de bajada pueden llegar a sufrir momentos de saturación. Las re combinaciones de enlaces de backbone se planifican añadiendo nuevos enlaces y gestionando su reparto de carga con IS-IS.

También se hacen re combinaciones de enlaces entre CMTS y usuarios. Una interfaz de la CMTS puede dar servicio a varios nodos terminales y pasan a formar un grupo de inserción, que a efectos prácticos es un nodo secundario. De la misma manera que los enlaces troncales se pueden saturar, los enlaces de planta externa pueden

aumentar su demanda. Cuando esto ocurre, un nodo del grupo de inserción ha de pasar a otro grupo menos ocupado o puede ocupar un interfaz que estuviera libre. Vemos en la siguiente ilustración como se distribuye la señal en descendente, añadiendo señal narrowcast para particularizar cada grupo de inserción.

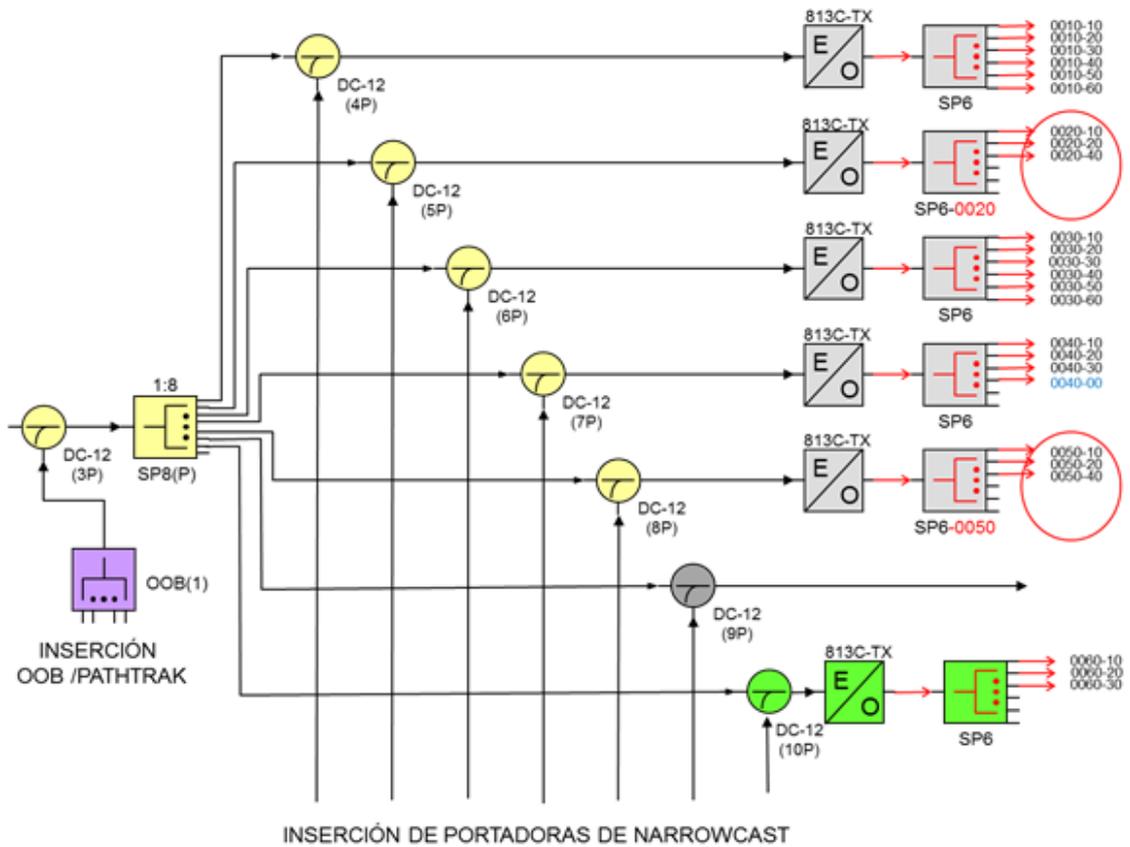


Ilustración 64: combinación de señal narrowcast para grupos de inserción

## 4. Migración de DOCSIS: de 3.0 a 3.1

DOCSIS son las siglas de Data Over Cable Service Interface Specification, en español: «Especificación de Interfaz para Servicios de Datos por Cable». Se trata de un estándar no comercial que define los requisitos de la interfaz de comunicaciones y operaciones para los datos sobre sistemas de cable, lo que permite añadir transferencias de datos de alta velocidad a un sistema de televisión por cable (CATV) existente. Muchos operadores de televisión por cable (cableoperadores) lo emplean para proporcionar acceso a Internet sobre una infraestructura de red Híbrida de Fibra óptica- Cable coaxial (HFC) existente.

### 4.1 Versiones del estándar.

Se han sucedido distintas versiones del estándar, en las que se ha ido incrementando la capacidad de los enlaces y los servicios suministrados.

Versión DOCSIS	Descripción
1.0	Sienta las bases del acceso de banda ancha a Internet.
1.1	Incorpora el servicio telefónico sobre IP y ofrece QoS.
2.0	Se añade el servicio de acceso empresarial e incrementa capacidad.
3.0	Soporta multicast, IPv6; incremento de capacidad.
3.1	Cambio en distribución frecuencial de canales, uso de nuevas modulaciones y CRCs.

*Tabla 5: resumen versiones DOCSIS*

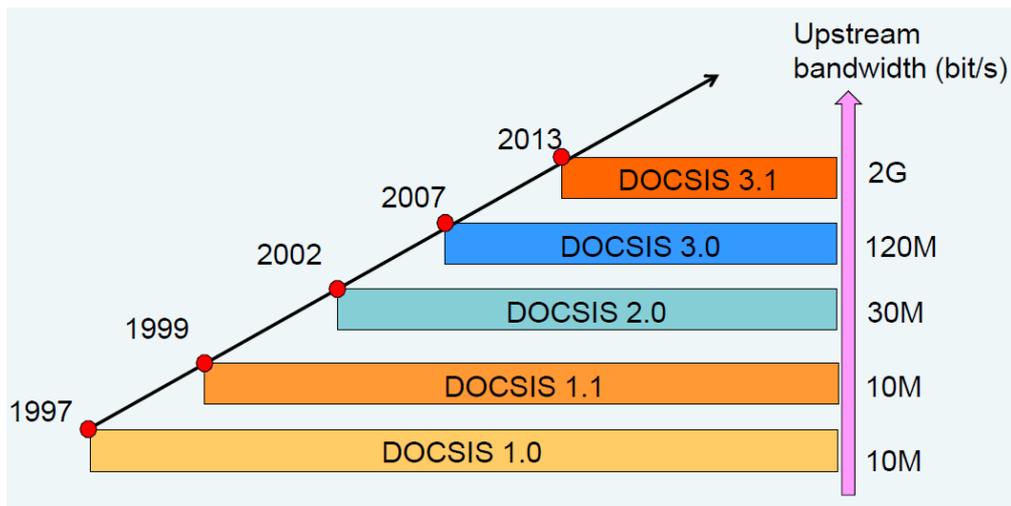


Ilustración 65: estándares DOCSIS

La red de DOCSIS consta de una CMTS, CMs que dan servicio a los CPEs, y una red de transmisión HFC.

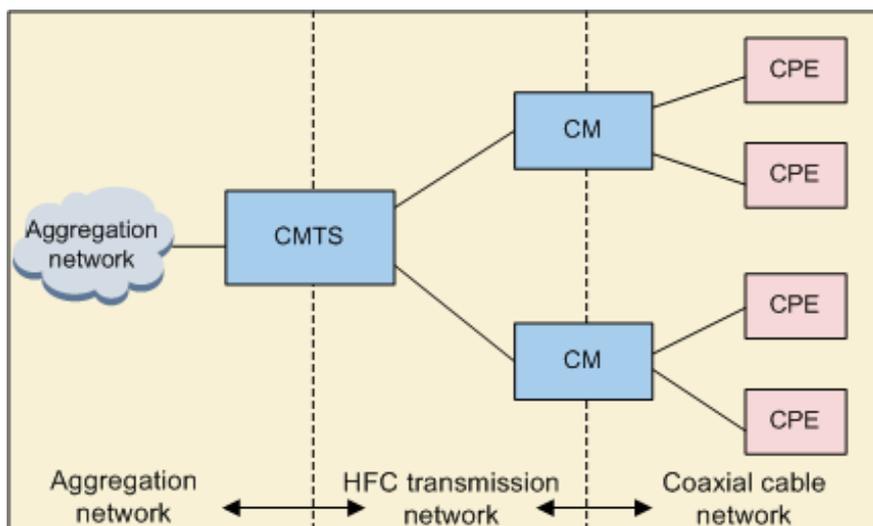


Ilustración 66: sistema DOCSIS

Desde 2007 llevamos utilizando DOCSIS 3.0, por lo que nuestra red actual tiene la arquitectura de este estándar.

#### 4.2 Arquitectura DOCSIS 3.0

A continuación, vemos un esquema de la red sobre el estándar DOCSIS 3.0: (37)

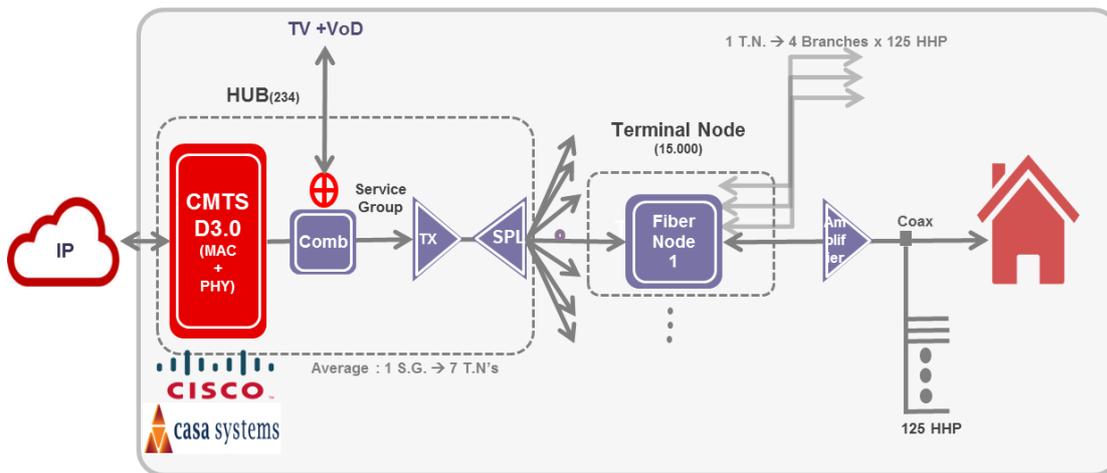


Ilustración 67: red sobre DOCSIS 3.0

Cada CMTS da servicio a varias decenas de nodos pudiendo llegar a cubrir más de cien, con un máximo aproximado de 20.000 CMs.

Las portadoras DOCSIS 3.0 llegan en frecuencia hasta 870MHz aproximadamente.

Los CMs pueden compartir en descendente hasta 24 portadoras de 50Mbps (1,2Gbps pico) entre 7 nodos ópticos (3500 hogares potenciales) y en ascendente hasta 4 portadoras 30Mbps (120Mbps pico) para uno o dos nodos ópticos típicamente (1000 hogares potenciales).

El equipamiento activo HFC tiene diplexores 65/85MHz para ascendente y descendente y trabaja hasta 1GHz. Los pasivos de red (taps, splitters, inyectores de potencia, acopladores) también funcionan hasta 1Ghz.

La demanda creciente de velocidad por parte de los usuarios exige velocidades altas y simétricas en HFC para competir con las ventajas de FTTH. Estas necesidades impulsan la creación y desarrollo del estándar DOCSIS 3.1

### 4.3 DOCSIS 3.0 vs DOCSIS 3.1

La distribución de bandas de frecuencia cambia con este nuevo estándar:

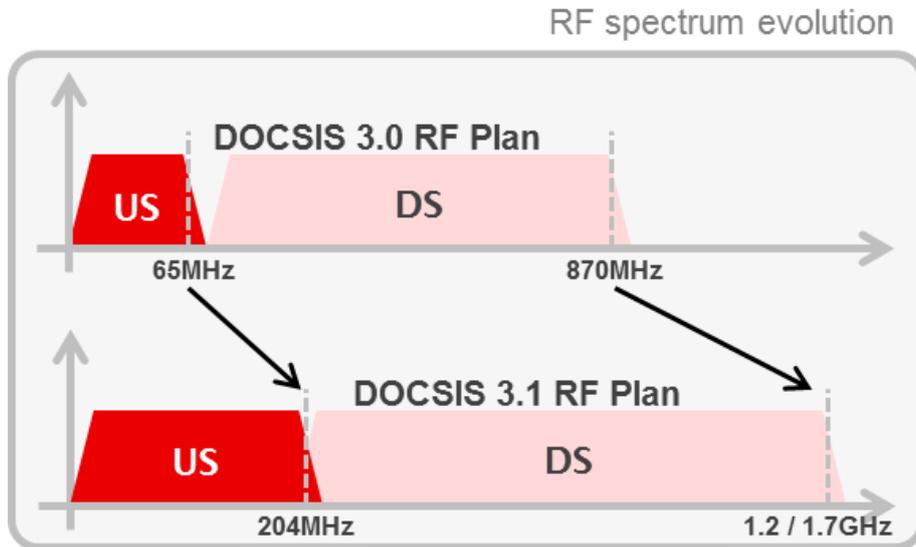


Ilustración 68: Evolución del espectro DOCSIS

El límite de los canales ascendentes pasa de 65 MHz a 204MHz y de 870 MHz hasta 1.2GHz en descendente.

Los canales individuales también se ven afectados: un canal ocupa más ancho de banda, que permite un uso más flexible del espectro y mayor capacidad.

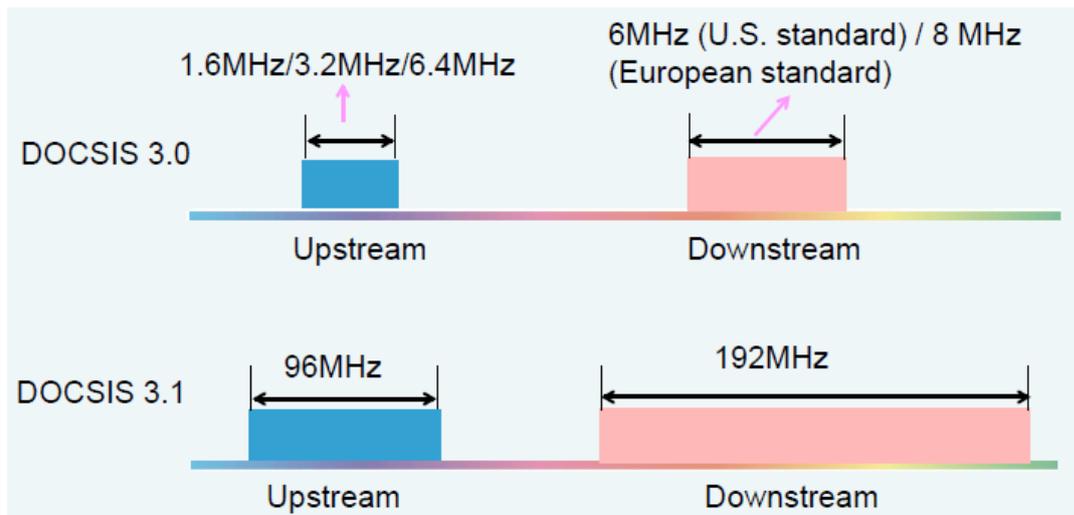


Ilustración 69: comparación canales individuales 3.0 vs 3.1

Este cambio es compatible con el estándar anterior para facilitar la transición de equipos y dispositivos, por lo que puede operar en las bandas clásicas 5 - 65/ 85-870MHz sobre la red actual HFC sin modificarla y los CMs 3.1 pueden trabajar como CMs 3.0. (38)

Se incorpora un sistema de corrección de errores (LDPC – Low density parity Check) mejora la BER y por ello permite utilizar modulaciones de mayor nivel, lo que se traduce en una mayor eficiencia espectral y una mayor capacidad de los canales. Estas modulaciones pasan de 256QAM a 4096QAM en downstream y de 64QAM a 1024QAM en upstream.

Parámetro	DOCSIS 3.0	DOCSIS 3.1
Modulación	QAM con 1 portadora	Múltiples portadoras OFDM
Tipo de FEC	Reed-Solomon con ganancia de 6 dB	LPDC (Low Density Parity Check) con ganancia de 12 dB.
Orden de la modulación	Subida: 16-256 QAM Bajada: 64-256 QAM	Subida: <2K QAM Bajada: <4K QAM

Tabla 6: comparativa parámetros modulación DOCSIS 3.0 vs DOCSIS 3.1

Este nuevo estándar cuenta con otras ventajas que lo hacen muy adaptable a las condiciones y los defectos del medio de transmisión:

- Modulaciones a medida.
- Anulación de bandas ruidosas.
- Tamaño variable de bloques OFDM:

Utiliza microportadoras de 25 o 50 kHz BW multiplexadas en frecuencia agrupadas en bloques de 192MHz en descendente y 96MHz en ascendente que simplifica tecnológicamente las CMTS y los receptores de los equipos.

Como máximo se pueden transmitir 5 bloques OFDM de 192MHz en descendente (258MHz-1.2GHz) y cada uno de ellos ofrece

capacidad para algo más de 1,5Gbps (si modulamos en 4096QAM), lo que nos da una capacidad pico de 7,5 Gbp.

El máximo en ascendente son 2 bloques OFDM de 96MHz (5-204MHz) y cada uno con unos 750Mbps modulando en 1024QAM, con lo que obtenemos una velocidad de pico de 1,5 Gbps.

Con estos resultados cumplimos el objetivo que habíamos planteado antes: aumentar la capacidad de transmisión de datos para equipararlo con FTTH, pero con un coste bajo respecto al despliegue de FTTH. Para conseguirlo, se debe aumentar el ancho de banda útil de la red HFC. (39)

	DOCSIS 3.0	DOCSIS 3.1
DOWNSTREAM	1,2 Gbps	7,5 Gbps
UPSTREAM	150 Mbps	1,5 Gbps
DS FREQ	86-860 MHz	200-1,2 GHz
US FREQ	5-65 MHz	5-200 MHz

Tabla 7: velocidades y frecuencias DOCSIS 3.0 vs 3.1

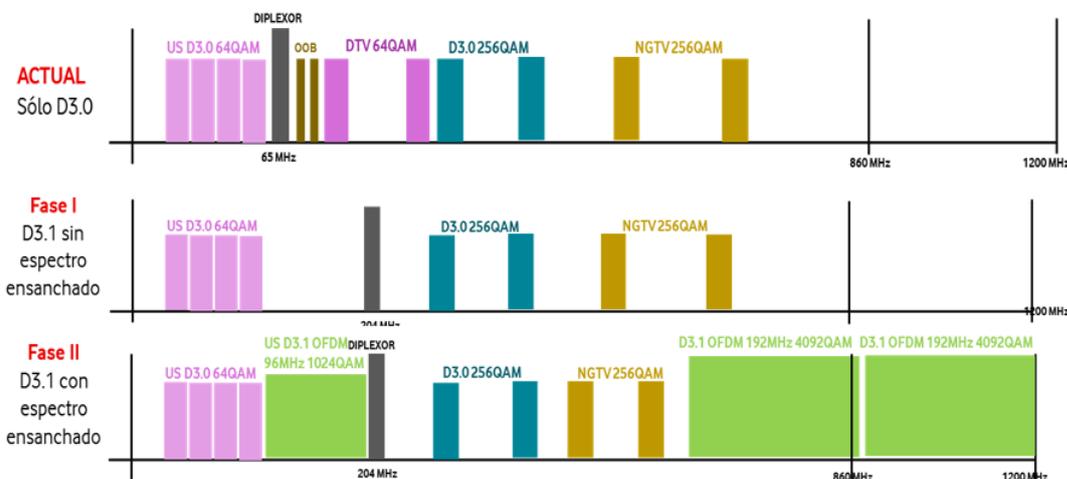


Ilustración 70: implementación del nuevo rango espectral

Si se quiere utilizar este nuevo y amplio espectro frecuencial es obligatorio sustituir nodos ópticos y amplificadores que no cumplen el desempeño frecuencial requerido.

#### 4.4 Migración: cambios necesarios

Tenemos dos opciones de implementación de DOCSIS 3.1:

- **OPCIÓN 1:** Mantener arquitectura centralizada
  1. Sustituir CMTS legacy por nueva CMTS 3.1
  2. Cambiar todos los transmisores ópticos de distribución de los Nprims para que funcionen hasta 1.2GHz
- **OPCIÓN 2:** Arquitectura distribuida con mini CMTS con interfaz GPON en cabina nodo terminal (nodo Remote MAC Phy). Es esta la que estamos llevando a cabo.
  1. Sustituir CMTS legacy por OLT
  2. Se puede desmontar toda la parte HFC en nodo primario asociada a la CMTS legacy y toda la parte HFC de los retornos de los nodos
  3. La sustitución del nodo óptico había que hacerla de todas formas, así que sustituirlo por un Remote MAC Phy en lugar de por otro nodo óptico implica poco coste adicional.
  4. No necesita fibras adicionales ya que sólo necesita las dos fibras del nodo óptico legacy.
  5. El interfaz óptico hacia OLT puede ser de hasta 10Gbps actualmente a compartir para 500 hogares.
  6. En sí mismo ya implica una ampliación de capacidad sin necesidad de utilizar el nuevo espectro ya que da más capacidad DOCSIS3.0 a los clientes de cada NT.



que mínimo los clientes tendrán el doble de capacidad en retorno.

- Los amplificadores se modernizan para cumplir los requisitos de frecuencia y se pueden controlar por software.
- Los elementos pasivos no son tan determinantes, se prevé tras pruebas realizadas en campo en la segunda mitad 2016, que sólo será necesario sustituir un % reducido de ellos (5-10% aprox). Se barajan diferentes escenarios en cuanto al cálculo previsto de pasivos a sustituir dependiendo del énfasis que se le pueda dar al bloque OFDM situado hasta 1.2GHz y de la elasticidad de los CM D3.1 en niveles de recepción. (39)

#### 4.5 Estructura tras la migración

Después de hacer todos los cambios descritos anteriormente, contaremos con una red DOCSIS 3.1 distribuida, en lugar de una 3.0 centralizada. A efectos prácticos hemos acercado y modernizado la CMTS al usuario final, que ahora realiza las funciones de EQAM y DWDM.

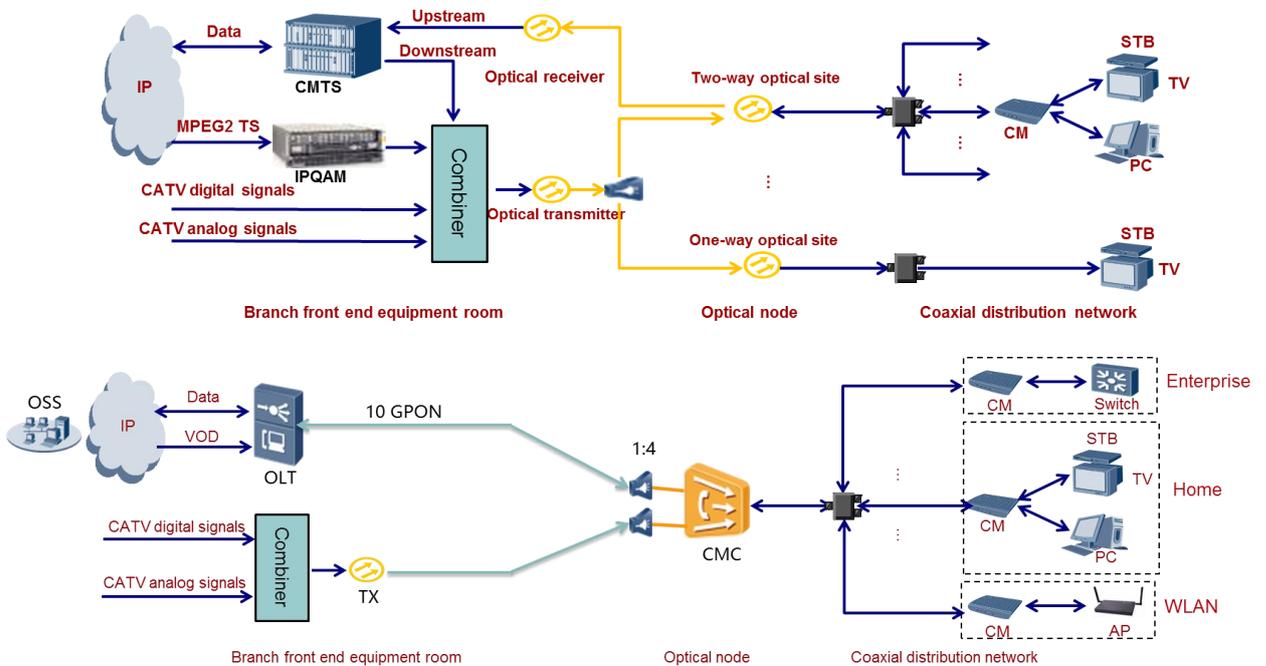


Ilustración 72: cambios en la migración

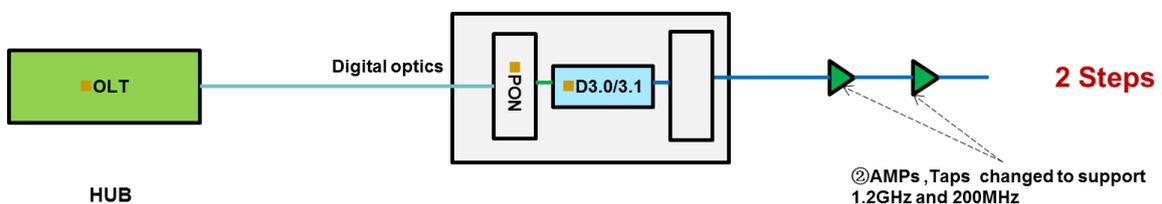
Todas estas mejoras las veremos reflejadas también en los parámetros de red y en nuestros KPIs. Una de estas mejoras será la SNR, ya que descongestionamos a la central y aumentamos su capacidad.

Nivel SNR	Ancho de banda y orden de modulación
≤38dB	1900M @2048QAM
39~41dB	2073M @4096QAM
42~44dB	2246M @8192QAM
≤45dB	2246M @8192QAM

Tabla 8: modulación y capacidad según SNR en DOCSIS 3.1

#### 4.6 Próximos pasos

El paso que hemos estamos llevando a cabo en la actualidad es la migración de la red a la estructura distribuida, en la que cada nodo tiene una CMC asociada. Este cambio ya aumenta la capacidad de la red, pero no habilita el funcionamiento completo de DOCSIS 3.1. Para llevar a cabo esta migración de manera exitosa tendremos que cambiar todos los componentes pasivos de la red, una vez acabada esta primera etapa. Nuestra planta cuenta con más de 350.000 amplificadores y millones de TAPs. Es una operación muy costosa tanto temporal como económicamente, pero es el camino hacia la red de los próximos 20 años. (41)



## 5. Conclusiones

Una red de telecomunicaciones de las dimensiones de un operador internacional como es Vodafone requiere muchas atenciones. La demanda de los clientes, siempre creciente, ha de ser satisfecha con un buen margen de maniobra para evitar saturaciones y prever correctamente la demanda y/o evolución demográfica de la zona.

Paralelamente, tenemos que llevar a cabo una labor de revisión y mantenimiento de la red, que es un ente “vivo”. Para conseguir ofrecer las velocidades solicitadas por los clientes sin hacer un despliegue de FTTH nacional se está llevando a cabo la migración de la red centralizada a una red distribuida en DOCSIS 3.1. Estos trabajos contribuyen a un aumento del número de incidencias en la red, que se suman a las incidencias habituales y de desgaste natural de la red.

Para poder medir con precisión los parámetros de la red que afectan al cliente necesitamos herramientas de monitorización de diferentes aspectos de la red. De este modo podemos priorizar y dirigir nuestros esfuerzos a las partes de la red que más lo precisan mientras ésta se va modernizando.

En definitiva, buscamos una experiencia de usuario transparente a nuestras actuaciones en la red y en constante mejora para seguir ofreciendo un servicio de calidad en el competitivo mercado de las telecomunicaciones.

## 6. Bibliografía

1. Saavedra AS. Tratado de telegrafía Barcelona; 1880.
2. U.I.T. Del semáforo al satélite Ginebra; 1965.
3. Blanca FP. Tratado elemental de telegrafía práctica Madrid; 1881.
4. Walker CV. Electric Telegraph Manipulation Londres; 1850.
5. weiller L. Traite General des Lignes et Transmissions electriques París; 1892.
6. Lavenir CB. Los grandes descubrimientos – Las telecomunicaciones; 1991.
7. Montillot L. La telegrafía actual, en Francia y en el extranjero en 1889 Madrid; 1891.
8. Tomas H. Tratado de telegrafía eléctrica Madrid; 1903.
9. Alcaraz L. Instrucciones prácticas telefónicas Madrid; 1923.
10. Bonell MM. Coexistencia de líneas de baja tensión Madrid; 1922.
11. anibale C. La telefonía a grande distanza e le traslazioni telefoniche Torino; 1919.
12. Segal B. Protocols, A Short History of Internet; 1995.
13. Licklider JCR. Man-Computer Symbiosis; 1960.
14. Escribano Á. Evolución de la Estructura de las Telecomunicaciones en España; 2001.
15. Huidobro JM. Telecomunicaciones: tecnologías, redes y servicios; 2010.
16. IEC. Acceso Internet; 2010.
17. Hemmrich R. Servicios de entretenimiento de banda ancha sobre DSL: pruebas actuales. Alcatel. 2011.
18. Catalán JR. Redes y comunicaciones; 2008.
19. celtnet.org.uk.. «History of Vodafone».
20. Economista. E. Vodafone formaliza la compra de Ono y preparan ya

sus primeras ofertas conjuntas; 2014.

21. País. E. Vodafone lanza Lowi, su marca 'low cost' de telefonía móvil; 2014.
22. Vodafone Di. Introducción red TX ONO Legacy.
23. Vodafone Di. Infraestructura red TX.
24. Vodafone Di. Topología red HFC.
25. Vodafone Di. Arquitectura red Tx.
26. Vodafone Di. Arquitectura de servicios en red Tx Legacy.
27. Vodafone Di. Elementos red HFC.
28. Vodafone Di. Explicación KPIs HFC.
29. Vodafone Di. Presentación herramienta Thot.
30. Vodafone Di. Señal en coaxial - Modulaciones QAM.
31. Vodafone Di. Manual diseño red: Capítulo 3, coaxial.
32. Vodafone Di. Ruido en la red Tx.
33. Vodafone Di. Red de acceso: parámetros de funcionamiento.
34. Vodafone Di. Webinar: herramienta GIRO.
35. Vodafone Di. Sistemas automáticos de adaptabilidad a los defectos en la red HFC VF-ONO.
36. Vodafone Di. Herramientas y programas optimización.
37. Vodafone Di. Arquitectura DOCSIS 3.1.
38. Vodafone Di. Evolución red Tx a DOCSIS 3.1.
39. Vodafone Di. DOCSIS 3.1 Pocketguide.
40. Vodafone Di. Formación Huawei: DOCSIS 3.1 solución comercial.