

3 Parámetros a medir en una red HFC

En el siguiente apartado realizaremos una introducción a aspectos referentes a la transmisión de la comunicación para los distintos servicios de banda ancha sobre red HFC. Centraremos el estudio principalmente en

- La distribución frecuencial de dichos servicios tanto de usuario como de mantenimiento de red, en ambos sentidos, ascendente y descendente.
- Para cada uno de estos servicios indicaremos las características fundamentales.
- Efectos no deseados que pueden afectar a la comunicación
- Introducción a la realización de medidas mediante los distintos equipos de medida.

3.1 Distribución frecuencial de los servicios

Como indicamos en el apartado 2, para que la comunicación sea bidireccional se requieren 2 caminos diferenciados para la señal, descendente y ascendente.

En el sentido hacia el usuario o camino descendente se transmite un mayor volumen de información, tanto de los canales de televisión como las descargas de datos de internet en sentido red a usuario. Se dispondrá de una banda ancha de frecuencia disponible.

En el sentido desde el usuario o camino ascendente se transmite un menor volumen de información, tan solo deberá transportar las peticiones de televisión y de internet por parte de los usuarios. La banda disponible para realizar dichas peticiones será mucho menor que la disponible para el sentido descendente.

Veamos más detenidamente cada uno de los caminos que recorre nuestra comunicación.

3.1.1 Camino descendente

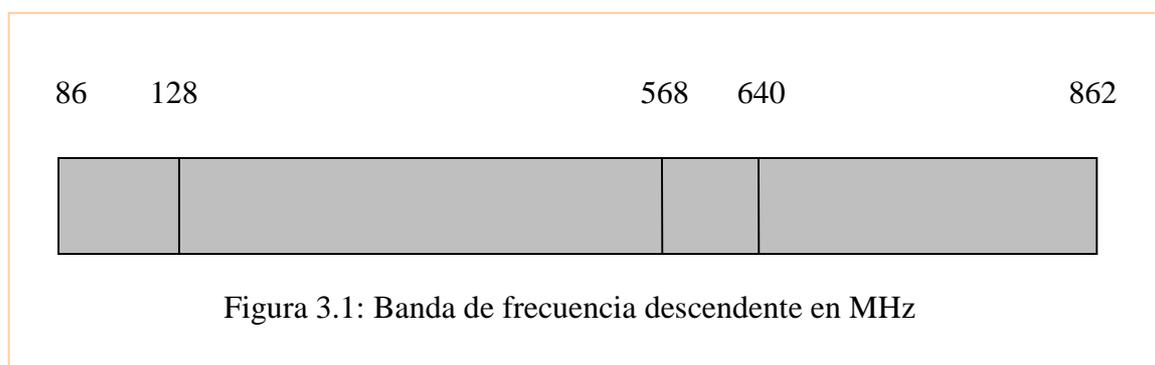


Figura 3.1: Banda de frecuencia descendente en MHz

En el diagrama anterior se muestran las bandas de frecuencia en las que se divide el camino descendente.

Tendremos por tanto 4 zonas de frecuencia, destinadas a diferentes servicios y aplicaciones:

- Canales de control: Comprendidos entre 86-128 MHz, con un ancho de banda disponible de 42MHz.

Tendremos canal de control de pago por visión, Monitorización y canal de barrido.

- Canales de televisión analógica: Desde 128 a 568MHz, con un ancho de banda de 440 MHz. Será fundamentalmente nuestra fuente de estudio.
- Canales digitales de datos: Entre 568 y 640 MHz. Ancho de banda 72 MHz.
- Canales de televisión digital: Entre 640 y 862 MHz. Con 222 MHz de ancho de banda.

3.1.2 Camino ascendente

A continuación se muestra en la figura 3.2 el ancho de banda reservado para transmisión de datos en sentido, cliente-nodo primario. El ancho de banda disponible es de 60MHz, comprendido entre 5 y 65MHz.

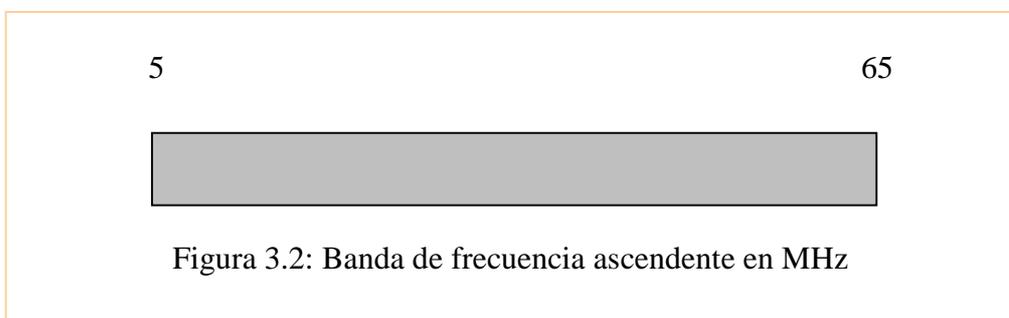


Figura 3.2: Banda de frecuencia ascendente en MHz

Las principales aplicaciones que posee dicho sentido de transmisión, son:

- Control: Retorno de las señales de monitorización, así como de la señal de control ascendente que se realizará a 65MHz.
- Canales digitales: Datos que envía el cliente, a la cabecera digital. Al tratarse de un medio compartido, la cabecera asignará a los clientes su correspondiente tiempo de transmisión.
- Señal de pago por visión: Para la petición de servicios de pago, el cliente dispondrá de un canal.

3.2 Características fundamentales de las señales

Los tipos fundamentales de señales y sus características mas destacadas son:

3.2.1 Señales de control

- **Señales de control:** Principalmente destacaremos la señal de barrido. Utilizan modulaciones digitales, robustas frente al ruido. Estrecho ancho de banda por ello son muy sensibles a interferencias.

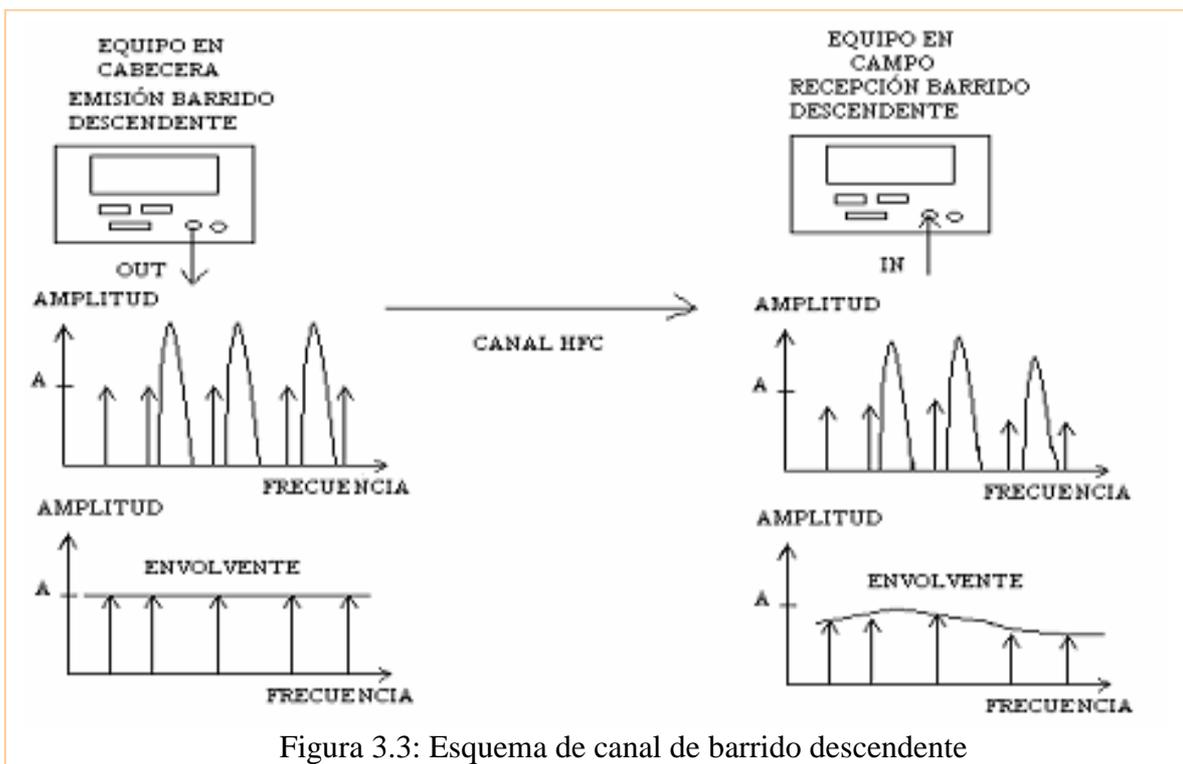
Nos detendremos en el estudio del canal de control barrido descendente el cual resulta vital en una red HFC. En muchas ocasiones es de gran ayuda conocer la respuesta en frecuencia del canal desde un punto a otro de la red, especialmente desde la cabecera de televisión hasta cualquier punto de la red HFC.

3.2.1.1 Barrido

Los canales de televisión a la salida de la cabecera se configuran en su totalidad al mismo nivel de portadoras. Las especificaciones de algunos elementos de la red exigen que los niveles se encuentren a un mismo nivel dentro de un rango pequeño de variación.

Para ver como afecta el canal a dichas portadoras podemos:

- Medir una a una sus niveles mediante un analizador de espectro y observar cuanto varía una con respecto a otras. Esta tarea resultaría ciertamente tediosa y no tendría en cuenta la variación de los niveles de portadora en el transcurso de la realización de la medida.
- Disponer de un equipo de barrido en la cabecera, capaz de emitir portadoras a determinadas frecuencias por todo el espectro y con un determinado nivel constante todas ellas, y recibir esa información en otro punto de la red, mediante un equipo de campo pudiendo determinar la atenuación o ganancia que ha sufrido para cada una de las frecuencias de portadora emitidas, y mediante una interpolación de dichos puntos en frecuencia reconstruir la forma de la respuesta en frecuencia desde el equipo de cabecera hasta el punto donde hayamos realizado la medida de barrido. Las portadoras emitidas no deberán interferir a los canales de información, por tanto se transmitirán en las bandas de guarda entre los mismos, a un nivel de 20dB por debajo de las portadoras de televisión analógicas y 10dB por debajo del nivel de los canales digitales. La comunicación entre el equipo de cabecera y el equipo de campo se muestra en la figura 3.3.



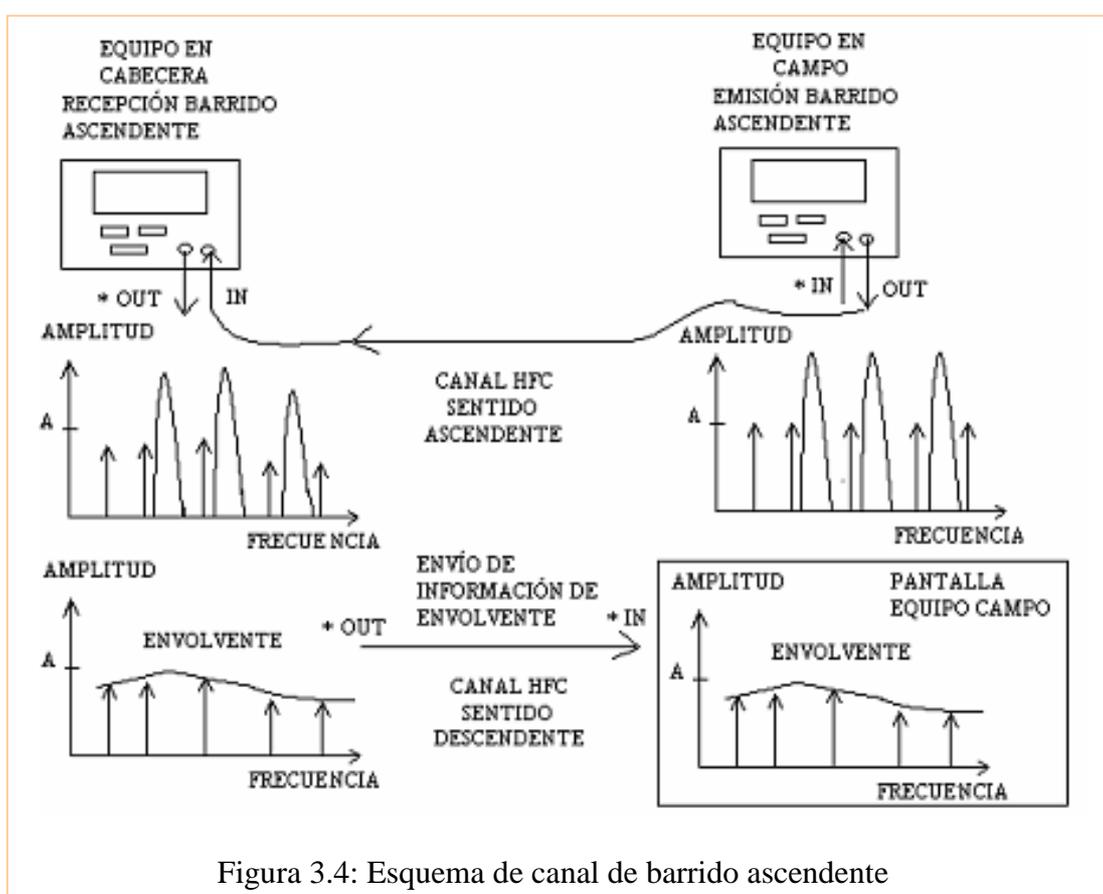
Para que sea posible realizar dicha comunicación es necesario sincronizar ambos equipos mediante una señal de control a una frecuencia determinada.

Al igual que existe un canal de control para la comunicación de barrido descendente, sería interesante disponer de otro canal en sentido ascendente. El estudio del barrido ascendente supone algo más de complejidad.

Nuestro interés es visualizar en el equipo de campo la respuesta en frecuencia esta vez en sentido ascendente, es decir desde un punto de la red hasta el equipo de cabecera.

Para ello la señal esta vez deberá recorrer el camino ascendente, y que el equipo de cabecera sea capaz de reconstruir la envolvente de la respuesta en frecuencia y enviársela de nuevo por el canal descendente hasta el equipo de campo.

En este caso el que emitirá la señal de barrido será el equipo de campo, aunque previamente se deberá de conectar con el equipo de cabecera mediante el canal de control. La figura 3.4 nos muestra el esquema de configuración para barrido ascendente.



3.2.1.2 Equipo de barrido

El equipo de medida que posibilita estas funciones es el HP Calan 3010, de gran utilidad en redes HFC. Existen 2 tipos de HP Calan según la funcionalidad final del mismo.

- HP Calan 3010H: Calan de cabecera es capaz de emitir la señal de control necesaria para la comunicación con el equipo de campo.
- HP Calan 3010R: Calan de campo capaz de recibir la señal de control que emite el equipo de cabecera necesaria para la comunicación entre ambos equipos.

La localización en la red HFC de Supercable de los equipos de cabecera será:
HP Calan 3010H de cabecera de televisión, necesario para la comunicación en el tramo de red troncal urbana primaria que enlaza la cabecera de televisión y los distintos nodos primarios.

HP Calan 3010H de nodo primario, necesario para la comunicación entre el nodo primario y cualquier punto de distribución del mismo.

Por tanto debemos tener 2 frecuencias de control, para comunicarnos con cada uno de los HP Calan de cabecera en sentido descendente:

- HP Calan 3010H- cabecera TV en 111MHz, de 750KHz de ancho de banda
- HP Calan 3010H- nodo primario en 112MHz, de 750KHz de ancho de banda

En sentido ascendente solo podremos comunicarnos con el HP Calan de nodo primario, se realizará a 65MHz.

En la figura 3.5 se muestra una imagen del barrido recibido en una medida realizada en campo con HP Calan 3010R

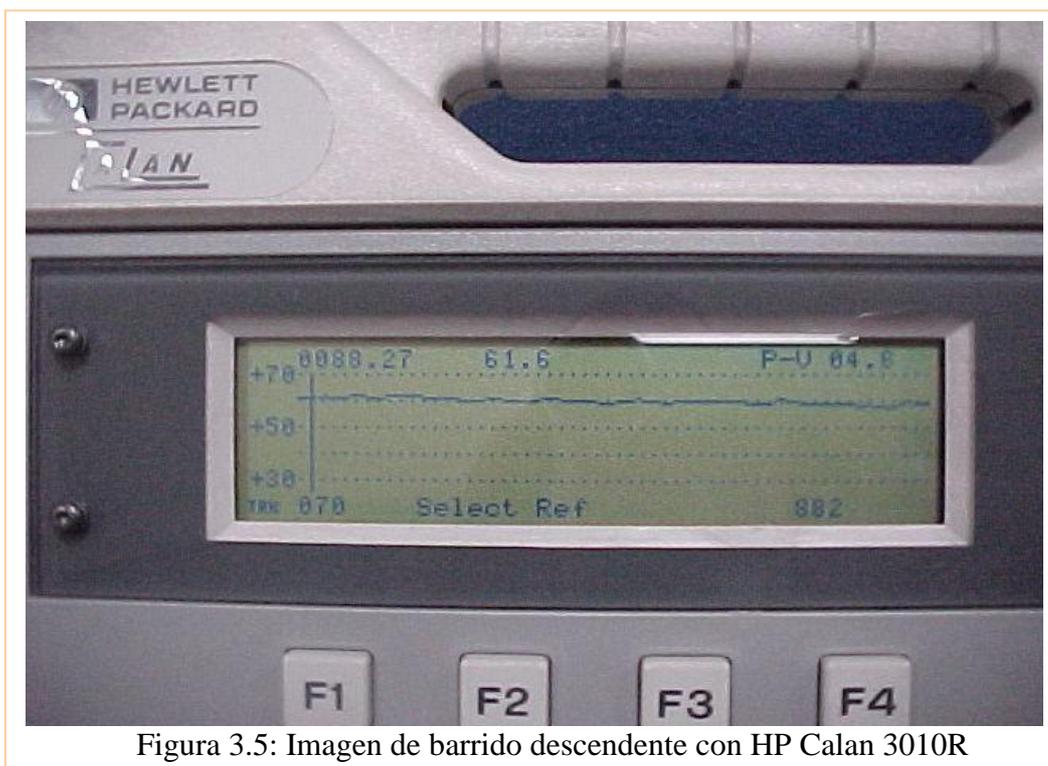


Figura 3.5: Imagen de barrido descendente con HP Calan 3010R

3.2.2 Canales analógicos

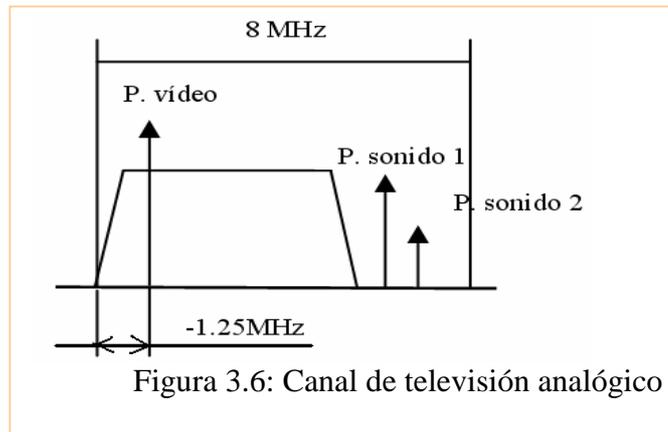
- **Señal de televisión analógica:**

Esta señal se compondrá de:

- Portadora de video, modulada en AM, con banda lateral vestigial de 1.25MHz.
- Subportadora de color con un desplazamiento superior de 4.43 MHz.
- 2 subportadoras de audio, a 5,5MHz y 5.85MHz respectivamente.

La primera de ellas es audio estéreo analógico, la segunda es audio digital NICAM posee un nivel inferior a la primera.

En la figura 3.6 se muestra la estructura del canal de televisión analógico.



La señal de televisión cumple el estándar PAL B/G, el cual fija las frecuencias en las que se debe transmitir los canales, y el ancho de banda de los mismos. Los canales poseen un ancho de banda de 8MHz, La portadora de video se encuentra a 1,25MHz por encima del límite inferior del canal, y es la frecuencia más representativa del mismo. La canalización de estos canales puede ser de 2 tipos según la localización de dichas frecuencias de portadora:

- HRC: Las portadoras se sitúan en frecuencias a partir de 48MHz, de 8 en 8 MHz

Su diferenciación principal, será encontrar las portadoras en frecuencias enteras, ejemplo primer canal para la canalización de Supercable en Almería, 128MHz

- IRC: Las portadoras se sitúan en frecuencias a partir de 47,25MHz, de 8 en 8 MHz

Su diferenciación principal, será encontrar las portadoras en frecuencias con decimales 0,25.

En el caso de Sevilla la canalización es IRC, por lo tanto todas nuestras consideraciones, serán con respecto a la misma.

Ejemplo primer canal para la canalización de Supercable en Sevilla, 127,25MHz

El tipo de canalización, será un dato importante a la hora de analizar las intermodulaciones.

3.2.3 Canales digitales

- **Canales digitales:** La diferencia principal espectral con respecto a un canal analógico es que se trata de un canal con forma rectangular.

Serán de interés:

- El nivel de potencia, para el ancho de banda del canal.
- La relación señal a ruido factor algo menos crítico que en canales analógicos.
- Constelación para el tipo de modulación digital del canal. Informará en gran medida de la calidad y robustez de nuestra señal, fundamentalmente frente al ruido. Las modulaciones empleadas serán

256QAM para el canal de datos descendente y 16 QAM para el canal de datos ascendente.

En canales digitales la importancia de la constelación reside en la importancia que adquiere la fase.

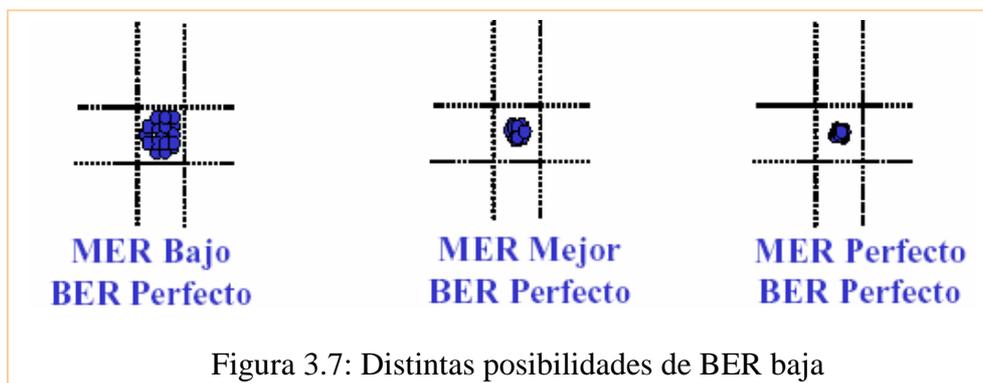
- Un parámetro importante a la hora de analizar una constelación digital será el cálculo de la relación entre la magnitud del error con respecto al símbolo transmitido, con la magnitud media de símbolo. Se denomina MER modulation error ratio, supone una medida que relaciona la potencia del error con respecto a la potencia media de la señal. Supone una medida análoga a la relación señal a ruido en sistemas analógicos.
- Tasa de error de bits. Su importancia es relativa al tipo de aplicación. Es importante conocer ambas magnitudes
Distinguiremos en canales que posean códigos de corrección de errores, entre:
 - PreBER: Tasa de error de bit, antes de corregir
 - PostBER: Tasa de error de bit posterior a la corrección.

En aplicaciones de datos digitales de información para internet, la corrección debe ser muy buena, por tanto se aceptará un PreBER relativamente alta, pero la PostBER debe ser muy baja.

En aplicaciones digitales de video, bajo el estándar DVB-C, para redes de cable la restricción no es tan severa, pues algún fallo en los datos no supondría la pérdida de imagen.

En ambos casos para tener una cierta calidad en la recepción, tanto MER, indicativa del ruido que posee la señal, como la PostBER, deben ser parámetros que estén dentro de unos límites permitidos.

Estos 2 parámetros conjuntamente nos darán información sobre la calidad de la transmisión de la señal a través de nuestra red, en la figura 3.7 podemos ver como aun teniendo una tasa de error de bit baja, puede existir ruido en nuestra comunicación que imposibilite la correcta recepción.



3.3 Medida de niveles

Los 2 medios de transmisión de los que se compone una red HF son el cable coaxial y la fibra óptica, a continuación haremos un breve repaso a las unidades empleadas para las medidas realizadas sobre ambos medios de transmisión.

Cable coaxial

La impedancia del cable coaxial utilizado es de 75 ohms. Por tanto para una determinada potencia transmitida el voltaje rms en el cable se relacionan mediante

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{V^2}{75} \Rightarrow V = \sqrt{75 * P}$$

Existen 2 tipos de medidas de nivel fundamentalmente:

- Medida absoluta: se define como aquella medida que posee unidades, tales como la frecuencia el tiempo.

Para nuestro caso la medida absoluta principalmente será el *dBmV*, definido como

$$20 \log_{10} \frac{V}{10^{-6}}$$

También importante serán los *dBmV*, cuya definición es $20 \log_{10} \frac{V}{10^{-3}}$

La relación entre ambas será por tanto $dBmV = dBmV + 60dB$

- Medida relativa: aquella medida comparativa entre 2 unidades.

Será muy importante desde el punto de vista de atenuación o ganancia en potencia:

La relación entre la potencia a la salida P_2 y a la entrada de un sistema P_1 , medida en dB:

$$10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

Fibra óptica

Al igual que para el cable coaxial existirán medidas relativas medidas en dB, y medidas absolutas las cuales principalmente medirán potencia óptica en dBm.

Para una potencia de luz en dada en mW, ésta se relaciona con la potencia en dBm mediante la siguiente fórmula $10 \log \frac{Pot(mW)}{1mW}$

3.3.1 Efectos no deseados sobre la señal

Para que se pueda establecer correctamente la comunicación entre los 2 extremos de la red HFC, la señal debe atravesar:

- Elementos pasivos: los cuales no necesitan alimentación para su funcionamiento, debido a que no realizan funciones de amplificación sobre la

señal a su entrada. Su característica fundamental es la de atenuar a la salida la señal de entrada. En redes de banda ancha como una red HFC el principal problema es que la atenuación crece con la frecuencia.

- Elementos activos: requieren alimentación para realizar funciones de amplificación principalmente. La amplificación conlleva 2 problemas la aparición de nuevos armónicos a la salida, y la suma de ruido interno al ya existente a la entrada del elemento activo.

Como vemos los principales efectos que podrían afectar a nuestra señal son: ruido, distorsiones y atenuaciones.

3.3.1.1 Ruido

La principal componente de ruido en nuestro sistema será la de ruido térmico introducido por los dispositivos electrónicos. Estará presente en el sistema incluso cuando no existe señal en el canal. En general este tipo de ruido será aditivo e independiente estadísticamente a la señal.

Este ruido se produce en los equipos sumándose a la señal que los atraviesa, por lo que de cara a tener una correcta recepción, la señal habrá variado con respecto a su transmisión.

Como hemos mencionado el paso de la señal a través de los elementos activos, provoca un aumento en el nivel de ruido a la salida, debido a que se suma el ruido interno con el ruido a la entrada aumentado por la ganancia del amplificador.

Un parámetro que relaciona la señal de información con el nivel de ruido es la relación portadora a ruido para canales analógicos. Una de las especificaciones que se exigirán para mantener la calidad de la señal a lo largo de la red será una relación portadora a ruido por encima de un determinado nivel. Esta relación se irá deteriorando a medida que vamos atravesando la red y elementos de amplificación.

Un parámetro que mide la bondad de un amplificador a la hora de aumentar el ruido a su salida será el factor de ruido, el cual relaciona la relación portadora a ruido a la entrada con la relación portadora a ruido a la salida. Si lo expresamos en decibelios

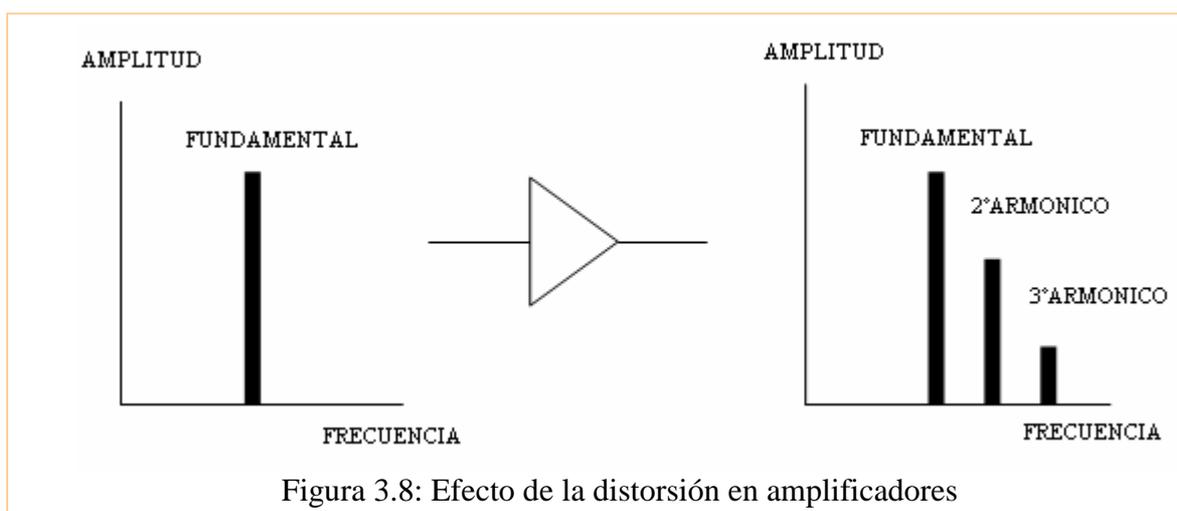
$$\text{tendremos la siguiente relación: } F = \frac{\frac{C}{N_{IN}}}{\frac{C}{N_{OUT}}} \Rightarrow F(dB) = 10\log\left(\frac{C}{N_{IN}}\right) - 10\log\left(\frac{C}{N_{OUT}}\right)$$

Como vemos el factor de ruido muestra como se deteriora la relación portadora a ruido tras atravesar un elemento activo. A modo de resumen mostraremos una tabla con los valores mínimos permitidos para relación C/N en distintos puntos de la red HFC

	C/N (dB)	
	Canal 7	Canal 55
Nodo primario	≥ 52	≥ 52
Nodo óptico terminal	≥ 47	≥ 47
Amplificador red distribución	≥ 46	≥ 46

3.3.1.2 Intermodulaciones

Las distorsiones son provocadas por la no - linealidad de los equipos activos utilizados. Esto provoca que obtengamos a la salida del elemento activo señales no presentes a la entrada. Estas nuevas frecuencias se denominan armónicos. En la figura 3.8 se muestra el efecto de las no linealidades de los elementos con amplificación con una entrada de una sola componente frecuencial. Vemos como a su salida aparecen componentes frecuenciales nuevas de menor amplitud.

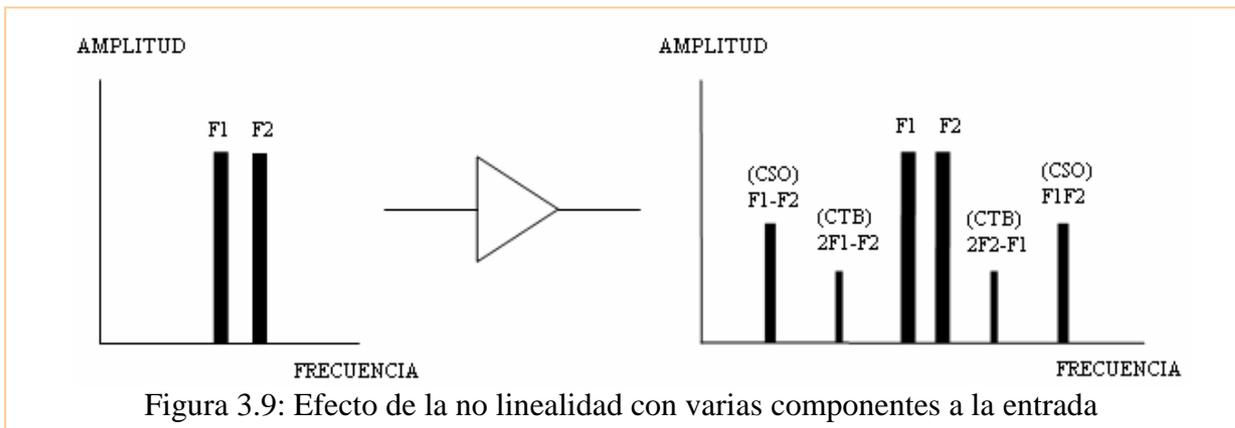


Las intermodulaciones son provocadas cuando a la entrada de un equipo con un comportamiento no lineal insertamos varias portadoras. Con ello obtenemos a la salida del equipo las diferentes fundamentales, sus correspondientes armónicos y los productos de intermodulación provocados por la suma y resta de las señales de entrada. Este efecto se muestra en la figura 3.9.

Según el tipo de intermodulaciones podemos distinguir entre otras, las debidas a composición de segundo orden CSO (Composite Second Order) y las debidas a composición de tercer orden CTB (Composite Triple Beat).

Las intermodulaciones de segundo orden (CSO) son menos numerosas y son formadas por la suma y/o diferencia de dos señales fundamentales o bien por un segundo armónico. Las intermodulaciones de segundo orden tendrán un offset respecto a la portadora de vídeo según el tipo de canalización empleada.

En las canalizaciones IRC partiendo del primer canal disponible (127,25 Mhz) y una separación de 8 Mhz obtenemos principalmente intermodulaciones a ± 0.75 Mhz de la portadora de vídeo, entre otras existentes. Para una canalización HRC la intermodulación CSO recae sobre la portadora de vídeo.



A continuación mostraremos ejemplos del cálculo de las intermodulaciones que aparecen fundamentalmente en una red HFC. El correspondiente a CSO

Ejemplo IRC:

Primer canal: 127,25 Mhz
 Número total de canales: 55

CSO IRC (segundo canal + tercer canal) = $(127,25 + 8 * 1) + (127,25 + 8 * 2) = 278,5$ Mhz. El canal 21 corresponde a la frecuencia 279,25 Mhz hallando la diferencia obtenemos que la intermodulación se encuentra -0,75 Mhz por debajo de la portadora de vídeo.

Ejemplo HRC:

Primer canal: 128,00 Mhz
 Número total de canales: 55

CSO IRC (segundo canal + tercer canal) = $(128,00 + 8 * 1) + (128,00 + 8 * 2) = 280,00$ Mhz. El canal 20 corresponde a la frecuencia 280,00 Mhz hallando la diferencia obtenemos que la intermodulación se encuentra sobre la portadora de vídeo.

Las intermodulaciones de tercer orden, CTB, son más numerosas y son formadas por la suma y/o diferencia de tres señales fundamentales, un segundo armónico y una fundamental o por un tercer armónico. Las intermodulaciones de tercer orden recaen sobre las portadoras RF de vídeo tanto para una canalización IRC como HRC.

Ejemplo IRC:

Primer canal: 127,25 Mhz
 Número total de canales: 55

CTB IRC (segundo canal + tercer canal - cuarto canal) = $(127,25 + 8 * 1) + (127,25 + 8 * 2) - (127,25 + 8 * 3) = 143,25$ Mhz. Esta frecuencia corresponde con la portadora RF de vídeo del canal 3.

Ejemplo HRC:

Primer canal: 128,00 Mhz

Número total de canales: 55

CTB IRC (segundo canal + tercer canal – cuarto canal) = $(128,00 + 8 * 1) + (128,00 + 8 * 2) - (128,00 + 8 * 3) = 128,00$ Mhz. Esta frecuencia corresponde con la portadora RF de vídeo del canal 1.

Para llevar a cabo las medidas de intermodulaciones, se sigue los siguientes pasos:

La medida de distorsiones la realizamos sobre el 7º y último canal. Estos canales son el primero y el último dentro de la canalización analógica sin codificación en la portadora, y por tanto poseen niveles de la misma estables en el tiempo. La frecuencia para estos dos canales difiere según el tipo de canalización empleada, HRC o IRC.

La medida de CSO deberá realizarse a +0.75 Mhz sobre la portadora RF de vídeo en la canalización IRC o sobre la portadora de vídeo en la canalización HRC, en el caso de ver un pico con una amplitud mayor que la encontrada en +0.75 Mhz se medirá en este anotando el desplazamiento donde se halla realizado la medida. La intermodulación CTB se realiza sobre la portadora de vídeo independientemente del tipo de canalización existente.

A modo de resumen mostraremos una tabla con los valores mínimos permitidos para intermodulaciones en distintos puntos de la red HFC

	CSO/CTB (dB)	
	Canal 7	Canal 55
Nodo primario	≥ 62	≥ 62
Nodo óptico terminal	≥ 59	≥ 59
Amplificador red distribución	≥ 57	≥ 57

3.3.1.3 Efecto de la atenuación

Los elementos pasivos poseen una respuesta en frecuencia habitualmente no plana por tratarse de componentes que permiten el paso de señal en un gran ancho de banda.

Podremos hacer una división según si la respuesta en frecuencia se conserva más o menos plana en toda la banda o si por el contrario atenúa más en unas componentes que en otra.

Generalmente los primeros son elementos pasivos que tienen la funcionalidad de dividir la señal entre varios puertos, suelen comportarse del mismo modo si se utilizan en sentido inverso es decir como concentradores de señal, es decir varias entradas se unen en una única salida. Estos elementos para posibilitar dividir la señal deben atenuar la señal

El segundo tipo es el cable coaxial, el cual tiene una característica en atenuación que crece con la frecuencia. Por tanto la señal para frecuencias altas se verá fuertemente atenuada.

El conjunto de elementos pasivos que atraviesa la señal provocará por tanto una gran atenuación con respecto a los niveles transmitidos en la cabecera, para permitir la difusión de señal hasta todos los usuarios finales, así como una pendiente negativa en la respuesta en frecuencia debido a el guiado de señal mediante el cable coaxial a grandes distancia.

Será por ello que debemos compensar estos efectos con elementos de amplificación intermedios que permitan compensar los niveles, así como compensar dicha pendiente negativa. Es por esto que los amplificadores de red HFC deberán ser configurables para compensar dicha pendiente negativa, y poder alcanzar en la última parte de la red un nivel requerido con una envolvente aproximadamente plana.

3.4 Instrumentación de medida

Para realizar las medidas de nivel en cable coaxial, es decir en el dominio de radiofrecuencia, así como para realizarlas sobre fibra óptica se emplearán los siguientes equipos:

3.4.1 Dominio RF

Principalmente haremos uso de estos equipos de instrumentación:

- Analizador de espectro HP 8594-C
- Equipos de barrido de cabecera y de campo HP Calan 3010H y HP Calan 3010R
- Prolink-7

3.4.1.1 Analizador de espectro

Abarca un rango de frecuencias entre 9Hz y 2.9GHz, es capaz de medir el nivel de amplitud a una determinada frecuencia con gran resolución y precisión.

Será de gran utilidad para visualizar la forma de los distintos canales en el espectro frecuencial, permitirá detectar anomalías en la transmisión de la señal.

Además de poder visualizar la forma que presenta el espectro en cualquier punto de la red, con él podremos medir niveles de:

- Portadoras de video
- Ruido: podremos medir densidad de ruido para 1Hz, para obtener la relación portadora a ruido C/N.
- Distorsiones: debido a las no linealidades de elementos activos aparecerán en distintas frecuencias nuevas portadoras con un nivel muy pequeño.

Para realizar medidas de niveles debemos ajustar la configuración de amplitud en *dBmV*, para medir el nivel absoluto de la portadora de vídeo ajustamos el ancho de banda de resolución, RES BW, igual que el ancho de banda de vídeo que se ajusta a 300 Khz. A continuación situaremos el marcador a la frecuencia de la portadora de vídeo y leemos el nivel de la misma.

Para medir nivel de ruido nos situaremos bien en un extremo del canal o fuera del canal si se trata del primero o último, cambiamos la resolución de vídeo a 100 Hz y el ancho de banda de resolución a 30 kHz. Seleccionamos MKR FCTN (MK NOISE ON) con ello obtenemos el nivel del ruido sobre 1 Hz.

Llegados a este punto debemos tener en cuenta ciertas consideraciones para realizar una correcta medida de la relación portadora a ruido. Veamos las correcciones que debemos realizar para obtener el valor real:

- La potencia de ruido se ha calculado para un ancho de banda de 1Hz, debemos tener en cuenta que la medida de C/N en el estándar PAL B/G requiere un filtro en el receptor del analizador de 5 Mhz. El analizador como tal no dispone de una resolución con un ancho de banda tan grande por lo que empleando en el caso de la medida de C/N uno de 30 KHz. Por tanto debemos corregir la densidad de potencia de ruido calculada para 1Hz a la densidad de potencia de ruido en 5 Mhz. Para que el equipo de medida pueda realizar los cálculos debemos indicarle cual será el ancho de banda de nuestro sistema.

$$NP = 10\log BW1/ BW2$$

NP = corrección de potencia del ruido en dB

$BW1$ = ancho de banda referencia 5 MHz, Hz

$BW2$ = medida de ruido realizada en ancho de banda, Hz

- *Analyzer Noise Correction*, esta corrección se debe tener en cuenta cuando la diferencia del ruido del sistema es menor de 10 dB respecto al ruido del analizador, medido sin señal a la entrada (Véanse figuras 3.11 y 3.12) . Esto lleva un aumento del valor, composición del ruido del analizador y sistema. Como recomendación la corrección no debe ser superior a 3dB ya que de lo contrario el error introducido en la medida sería muy elevado. Siendo D la diferencia entre el ruido medido y el ruido del analizador, el factor de corrección se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$FC(dB) = -D + 10\log_{10}(10^n - 1) \text{ con } n = \frac{D}{10}$$

- *LOG detect*, es la corrección efectuada por el analizador al pasar los voltios a un valor logarítmico.
- *IF Noise Equiv. Pwr BW*, el filtro que debería disponer el analizador tendría que ser de 5 Mhz y cuadrado. Esto no es así por lo que debemos corregirlo en los cálculos. Para el TV 8594C el factor de corrección es $-0,52$ dB.

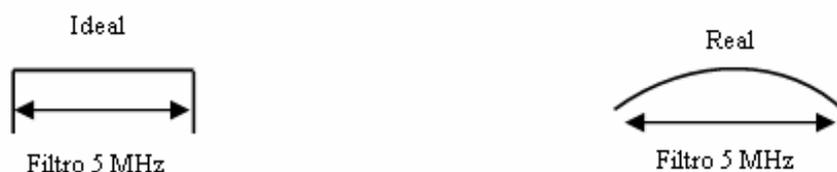


Figura 3.10: Respuesta ideal y real del filtrado del analizador



Figura 3.11: Factor de corrección en función de la diferencia entre el ruido de la red y el del analizador D(dB).



Figura 3.12: Diferencia entre el ruido de red y el interno del analizador

Veamos un ejemplo donde se calcule la C/N teniendo en cuenta las correcciones oportunas:

Nivel absoluto de portadora de vídeo de 46 dBmV=106 dBmV

El nivel de ruido en 1 Hz es de -71 dBmV=-11 dBmV

El ruido interno del equipo es de -69.79 dBmV=-9.79 dBmV (1 Hz)

$C/N = 46 - (-71) = 117$ dB

A continuación se deben introducir las correcciones para el valor obtenido:

q Corrección ancho de banda, de 1 Hz a 5 Mhz = - 66.98 dB

q Corrección por la imperfección del filtro = + 0.52 dB

q Corrección figura de ruido analizador = + 4.2 dB

q Corrección detección ruido logarítmico = - 0.52 dB

Suma de correcciones=-62.78dB

Tras todo esto el valor de C/N final = 117+correcciones=54.22 dB

Para la medida de intermodulaciones debemos situarnos sobre los armónicos producidos con ancho de banda de resolución 10 Khz y el de video 100 Hz.

Veremos un caso práctico de cálculo de CSO y CTB, como recordatorio el nivel de armónicos CSO se medirá sobre frecuencias de portadora $\pm 0.75\text{MHz}$, el correspondiente a CTB se realizará sobre frecuencia de portadora de vídeo.

En primer lugar medimos el nivel absoluto de la portadora de vídeo como hemos indicado ajustamos el ancho de banda de resolución a 300 KHz y el ancho de banda de vídeo se ajusta igualmente a 300 KHz. Se efectuará sobre el 7° (175.25MHz) y el último canal (559.25MHz).

Continuamos cambiando el ancho de banda de resolución a 10 KHz y el de vídeo a 100 Hz. Nos situamos sobre las intermodulaciones a medir.

- Caso del 7° canal: 175.25MHz

CSO: realizaremos la medida sobre el primer canal sin señal de información es decir $127.25-8=119.25 \pm 0.75\text{MHz}$. La principal componente se encuentra a 120MHz.

CTB: en esta ocasión medimos sobre la frecuencia de portadora 119.25MHz.

- Caso último canal: 559.25MHz

CSO: realizaremos la medida sobre el primer canal sin señal de información por encima del último canal es decir $559.25+8=567.25 \pm 0.75\text{MHz}$. La principal componente se encuentra a 566.5MHz.

CTB: en esta ocasión medimos sobre la frecuencia de portadora 567.25MHz

$$CSO/CTB = \text{Nivel portadora vídeo}(dB) - \text{nivel distorsión}(dB) = dB$$

3.4.1.2 HP Calan 3010

Como hicimos mención anteriormente es el equipo encargado de realizar las funciones de barrido tanto ascendente como descendente. Servirá por tanto para:

- Visualizar la respuesta en frecuencia desde el HP Calan 3010H de cabecera, hasta el punto de la red donde nos encontremos midiendo, se efectuará mediante la medida de barrido descendente
- Observar que respuesta existe en sentido inverso, es decir en sentido ascendente, desde HP Calan 3010 R de campo, y el de cabecera. El Calan de campo emite una señal, que recibe el Calan de cabecera, y a continuación éste le envía en forma de datos digitales la respuesta en frecuencia recibida. De este modo podremos también observar el camino ascendente.
- Como aplicación adicional se puede utilizar para observar la respuesta en frecuencia de un elemento de red, relacionando la respuesta observada a la entrada con la respuesta a la salida.



Figura 3.13: HP Calan 3010H nodo primario

Como ejemplo de esta última aplicación: si tomamos las medidas a la salida del receptor óptico, y las tomamos como referencia de las medidas que realicemos en el elemento de red inmediatamente posterior, en nuestro caso un acoplador direccional, y despreciando los efectos de conectores y cables por ser de longitud corta, podremos tener una estimación de la respuesta en frecuencia del acoplador direccional

	Frecuencia (MHz)								
	88.27	130.2	210.2	322.2	430.2	554.2	658	747.25	851.25
Salida Rxor Óptico (dBmV)	60.8	61.6	61.8	60.9	60.6	61	61.1	60.2	60.4
Salida Acoplador (dBmV)	59.9	60.5	60.6	59.9	59.7	59.9	60.2	58.9	59.3
Diferencia (dB)	-0.9	-1.1	-1.2	-1	-0.9	-1.1	-0.9	-1.3	-1.1

Mediante interpolación de valores en Matlab se obtiene la siguiente representación frecuencial. Figura 3.14

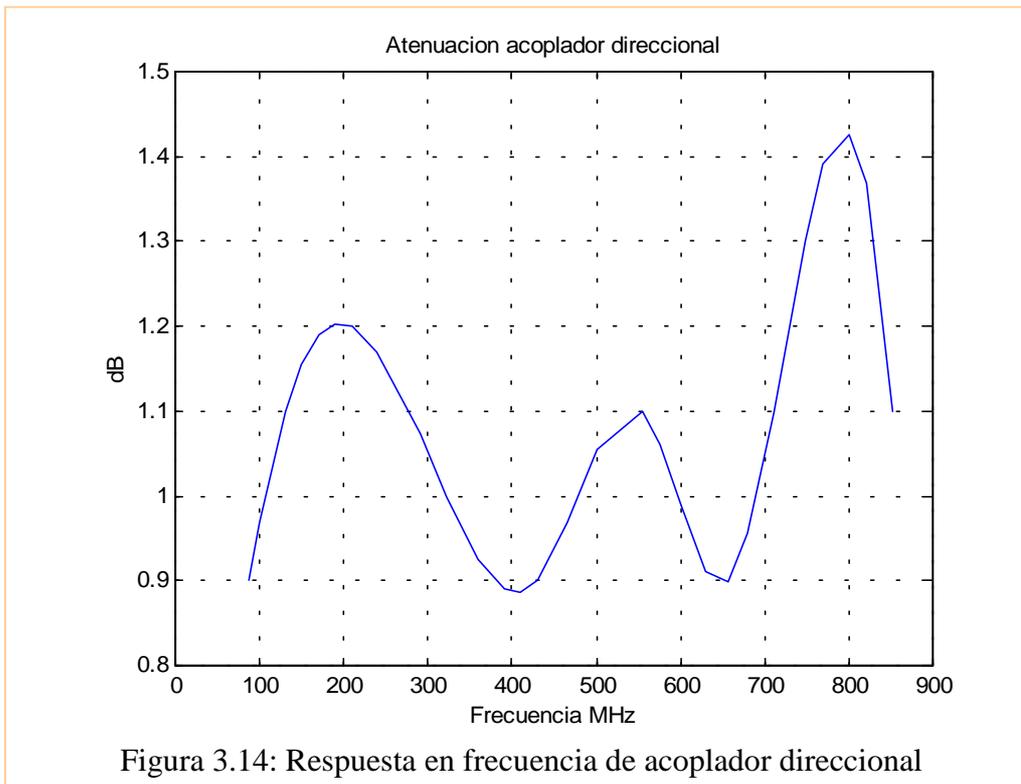


Figura 3.14: Respuesta en frecuencia de acoplador direccional

3.4.1.3 Prolink-7

Se trata de un equipo de medida de la compañía PROMAX sobre el que desarrollará la aplicación software para realizar un control remoto del mismo. Es un equipo con unas determinadas funciones que pueden resultar útiles a la hora de verificar una instalación.

Principalmente destacaremos:

- Medida de potencia en canales digitales con un determinado ancho de banda.
- Medida de nivel a una determinada frecuencia hasta 2.15GHz.
- Analizador de espectro en resolución y banda de frecuencia reducidas
- Recepción y decodificación de televisión en banda terrenal y satelital. Será de gran utilidad ya que podemos comprobar la calidad en la recepción de señal mediante el visor de TV incorporado en el equipo.
- Posibilidad de adquisición de medidas programadas en el tiempo.
- Control remoto mediante puerto RS-232

3.4.1.4 Generador de portadora ascendente

Se trata de un equipo de la compañía PROMAX RP-100 capaz de generar 2 portadoras entre 5 y 100MHz a su salida con diferentes niveles configurables.

Por tanto podremos introducir a la entrada de equipos de banda ascendente entre 5-65MHz 2 portadoras y ver la respuesta a la salida del equipo.

En el caso de ajuste de ganancias en elementos del nodo primario en sentido ascendente. Servirá para, introduciendo una portadora a un nivel determinado de potencia, ajustar la ganancia para obtener a la salida un nivel requerido, medido mediante un analizador de espectro.

3.4.1.5 Generador de ruido

El generador de ruido se trata de un equipo de PROMAX el cual a su salida posee una característica en frecuencia prácticamente plana, entre 5 y 1000MHZ, por tanto podría representar una delta de Dirac en el tiempo.

Si tenemos esta fuente a la entrada de cualquier equipo, viendo a su salida la respuesta mediante el analizador de espectro a las diferentes frecuencias, podremos tener una buena aproximación de la respuesta en frecuencia del sistema.

Para la caracterización de elementos podremos proceder de forma parecida a como lo hemos hecho con HP Calan, en aquellos puntos de la red en los que consideremos interesantes, lo emplearemos en el caso de caracterización de elementos en sentido ascendente.

En primer lugar tomaremos una referencia, con el generador de ruido conectado directamente a la entrada del analizador, y posteriormente correlando las posteriores medidas con la prueba de referencia, para restar los efectos de conexionado, obtendremos la respuesta del sistema.

3.4.2 Dominio óptico

- Multímetro digital HP 34401-A
- Analizador de espectro óptico OSA FTB-300 de EXFO.
- Reflectómetro óptico (OTDR), con medidor de potencia óptica (OPM) incluido, HP E6000A

3.4.2.1 Multímetro digital

Para realizar las medidas correspondientes a potencia recibida y transmitida en los equipos ópticos, éstos disponen frecuentemente un lugar donde poder medir potencia óptica mediante una tensión en continua. Para realizar la equivalencia entre tensión en continua Vdc, y potencia óptica para transmisiones en 2ª ventana a 1310nm se utilizará la siguiente fórmula: $Pot(dBm) = 10\log_{10}(Vdc)$

Realizaremos las medidas de tensión en continua mediante un multímetro HP 34401-A, colocando uno de los polos en el punto de prueba, y el otro en cualquier otro punto que realice funciones de tierra. En las figuras 3.15 y 3.16 se muestran tanto el multímetro como la medida efectuada sobre un receptor óptico.

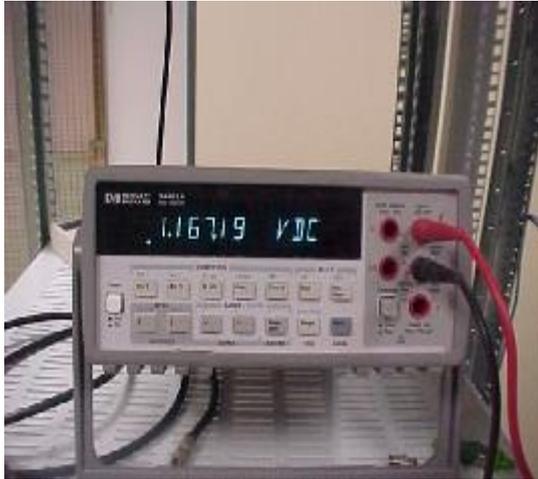


Figura 3.15: Multímetro digital midiendo tensión continua

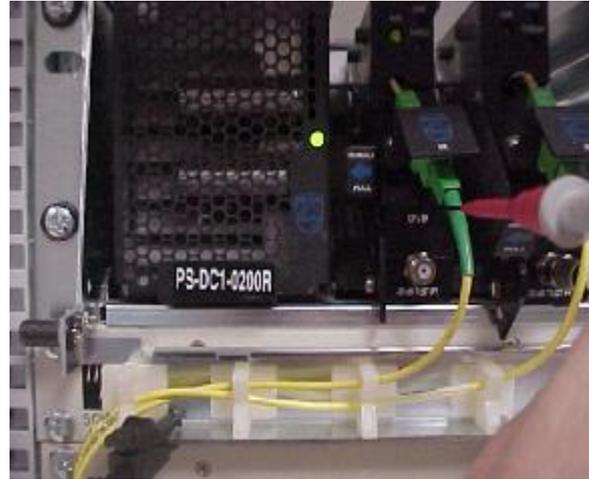


Figura 3.16: Medida de tensión sobre el punto de prueba óptico OPT TP

3.4.2.2 Analizador de espectro óptico (OSA)

El analizador de espectro FTB-300 de EXFO nos permite visualizar el espectro óptico desde 1250 hasta 1650nm. Fundamentalmente podremos analizar la forma que presenta la señal óptica, a la salida de un transmisor óptico, a la entrada y salida de una fibra óptica, así como observar la señal en el receptor.

Con el analizador podremos realizar medidas de:

- Nivel a determinada longitud de onda, principalmente observar donde se presenta el máximo.
- Relación señal a ruido con respecto al máximo nivel.
- Visualizar la forma que presenta el espectro
- Medir potencia promedio en un determinado ancho de banda de interés



Figura 3.17: Analizador de espectro óptico

3.4.2.3 Reflectómetro óptico (OTDR)

Las pruebas de reflectometría se utilizan especialmente para realizar medidas sobre enlaces de fibra óptica. El principio de funcionamiento es emitir una señal óptica a través del enlace, y recibir en el mismo equipo las reflexiones que se produzcan a través del camino recorrido por la señal. Se podrá visualizar una traza que se corresponde con las reflexiones producidas en el enlace. Cualquier tipo de evento relevante en la traza supondrá un elemento o suceso dentro del enlace. Para comprobar si existen roturas o imperfecciones en el guiado de señal se realizan pruebas de reflectometría.

Las funciones para las que utilizaremos el OTDR HP E6000A serán

- Determinar la atenuación del enlace
- Detectar puntos de conexión entre fibras o roturas en un enlace.
- Medición de potencia óptica (OPM)



Figura 3.17: Reflectómetro óptico