

Tema 1 - CATV, TVDigital y Cablemodem.

Preguntas...

CATV

¿Qué es CATV?

¿Cuáles son los componentes que conforman el sistema de CATV?

¿Para qué se utiliza la cabecera en CATV? ¿Qué elementos hay que tener en cuenta?

¿Qué ancho de banda utilizan en este tipo de servicio, cuantos canales pueden transmitir?

¿Existen estándares a cumplir para la transmisión?

¿Por qué se plantea la utilización de un plantel exterior totalmente conformado de cobre y en otro caso en una mezcla entre cobre y fibra?

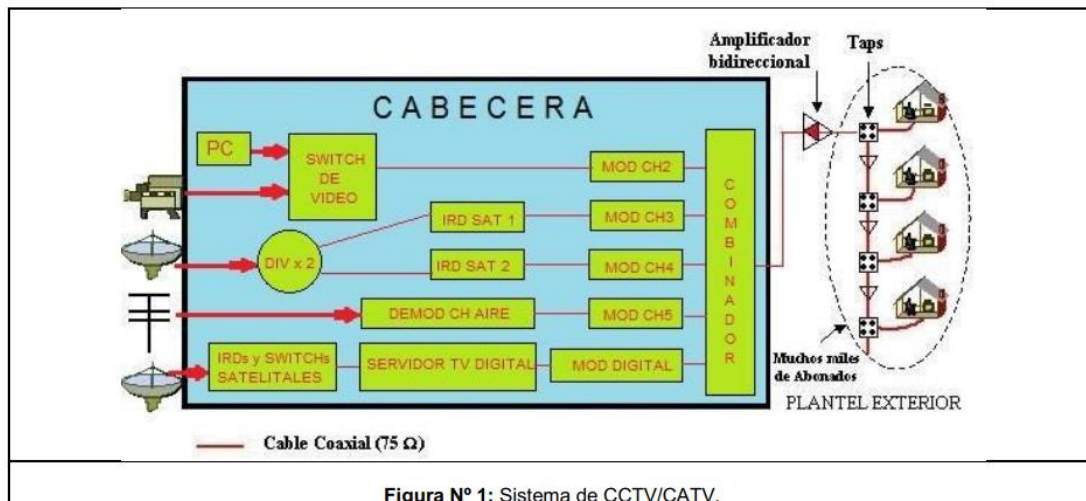
¿Qué elementos hay que tener en cuenta en plantel exterior? ¿Es una red activa o pasiva?

¿Qué parámetros expresan la calidad en este tipo de red? ¿de qué dependen?

Resumen...

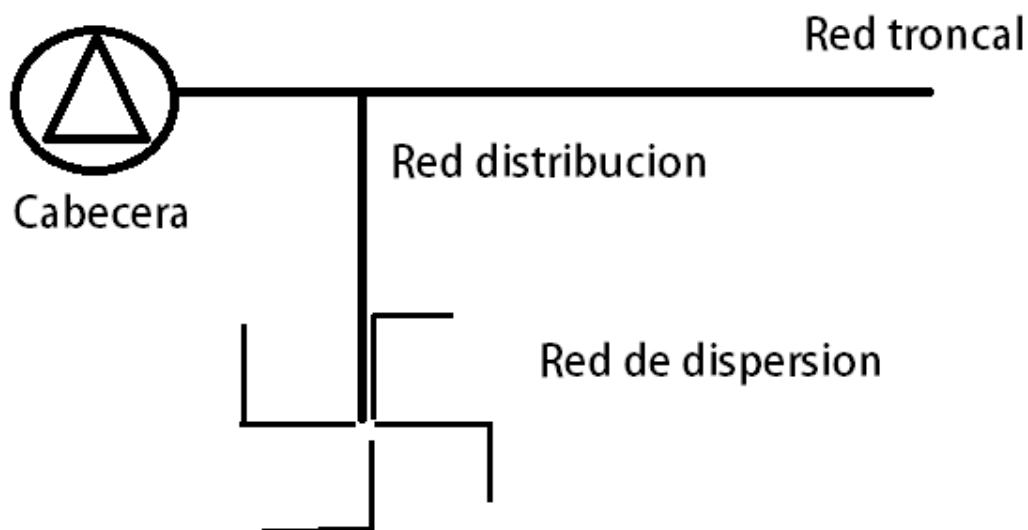
Una red CATV ("Community Antenna Television") hace referencia a un sistema que permite proporcionar servicio de televisión por medio de señales de radio frecuencia a través de redes de par de cobre o fibra óptica. Este tipo de redes, en un principio surgió de la necesidad de vincular diferentes sitios distantes al lugar de emisión de señales de televisión. Pero el sistema era mucho más simple, ya que consistía en una antena comunitaria para la recepción de señales de radio frecuencias transmitidas de manera inalámbrica y una red de distribución de par de cobre para hacer llegar la señal a todos los usuarios.

Con el correr de los años, la cantidad de canales de televisión que podían visualizarse comenzó a crecer, por lo tanto, se planteó un sistema un poco más complejo conformado por dos grandes subsistemas, "cabecera" y "plantel exterior". La necesidad específica recae sobre el hecho de que ya no es posible recepcionar todas las señales mediante una única antena receptora, ya que los canales de televisión en RF se encuentran multiplexados en el dominio de la frecuencia y no es suficiente el ancho de banda de recepción de una única antena para captar todas las señales transmitidas. Por dicha razón, la cabecera contiene agrupados múltiples sistemas de recepción (múltiples antenas) y de procesamiento de señales (filtros receptores, demoduladores, conversores de norma y moduladores) en un único lugar físico, de manera tal que sea posible de combinar todas ellas y transmitir las hacia una red de distribución, lo que normalmente se la conoce como "plantel exterior". La siguiente imagen permite visualizar dicho concepto:



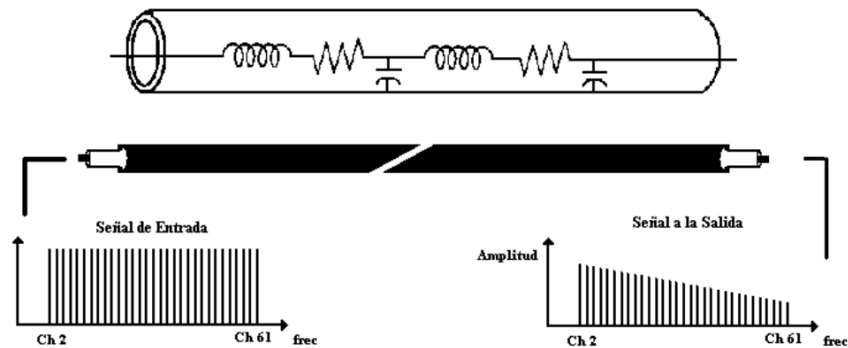
La cabecera tiene como principal función la **recepción, generación, combinación y transmisión** de las diferentes señales que podrán visualizar posteriormente cada uno de los usuarios.

El plantel exterior tiene como principal función proporcionar todos aquellos **mecanismos que permitan la distribución de señales hacia diferentes puntos de recepción**. Dentro de un plantel exterior puede encontrarse diferentes tipos de redes. Una de ellas se denomina “red troncal”.



Esta red plantea la existencia de una infraestructura especial entre cabecera y la red de distribución. ¿Por qué? ¿Por qué una infraestructura especial? Porque todos los usuarios dependen de dicha red, por lo tanto, se busca que la calidad se deteriore lo menos posible. Esto implica la utilización de cable coaxial de mayor calibre, así como también amplificadores de buena calidad (Figura de ruido, distorsiones de segundo armónico y triple batido compuesto, así como también modulación cruzada, todas ellas lo más bajas posibles). ¿KEH LO KEH? Ya lo explicaremos, pero para simplificar, hay que entender que **los amplificadores en las redes troncales deben introducir en la red la menor cantidad de ruido, así como también deben tener la mayor linealidad posible, eso hace la calidad**. TODOS SABEMOS QUE NO EXISTEN DISPOSITIVOS PERFECTAMENTE LINEALES. Además, la colocación de dispositivos en cascada en dicha red así como también los calibres de los cables utilizados repercuten en los parámetros de calidad, ya que cada uno de ellos va deteriorando cada vez más las señales.

Pero... Está todo bien con los amplificadores, pero ¿por qué utilizarlos? Resulta que este tipo de redes al utilizar cable coaxial, las señales se atenúan y además adquieren ruido térmico. Encima, las atenuaciones no son todas iguales para todas las frecuencias, ya que el cable para las frecuencias de trabajo (MHz) se comporta como un filtro pasabajas.



La impedancia característica de la línea Z_o depende de los valores de L y C que a su vez dependen de las dimensiones de la línea, por lo tanto, el valor de Z_o está dado por:

$$Z_o = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

En todos los casos, la impedancia característica es de 75 Ohm. Sin embargo, dependiendo de la frecuencia de trabajo se tienen diferentes atenuaciones en dB/Km como se muestra en las tablas de los apuntes. *De esta manera, en las diferentes secciones de la red debe amplificarse la señal para compensar todas las pérdidas introducidas por el cable. La idea principal es que la salida de los amplificadores tenga el mismo nivel que la salida en cabecera y con el mismo TILT. ¿Qué es el TILT? Es el énfasis en la salida de cabecera que se da a las señales de mayor frecuencia sobre las bajas, ya que el cable atenuará más las altas que las bajas. Esto tiene como propósito compensar las diferencias de atenuación del cable por Km recorrido por la señal.*

Tipos de TILT:

- ➔ “Salida plana” (*flat tilt*)
- ➔ “Salida con poco énfasis” (*Half tilt*)
- ➔ “Salida con mucho énfasis” (*Full tilt*)

Ojo, en amplificadores no hay que confundir SLOPE con TILT. Son dos conceptos diferentes, porque el SLOPE hace referencia a la ganancia del amplificador, no a los niveles de salida del mismo. *Tienen los mismos tipos que el tilt pero el concepto es diferente.* También, es necesario aclarar que los amplificadores tienen requerimientos respecto a los niveles de la señal de entrada, ya que si no se respetan se producirán distorsiones en la señal de salida, por esta razón se introducen dentro del amplificador dos bloques importantes: **Ecualizador y Atenuador**.

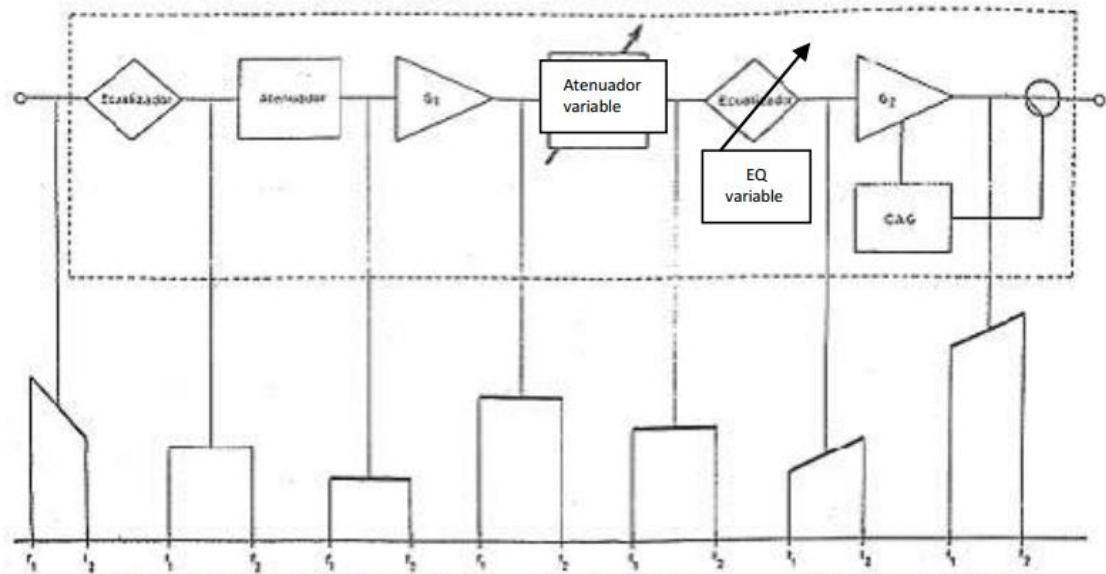
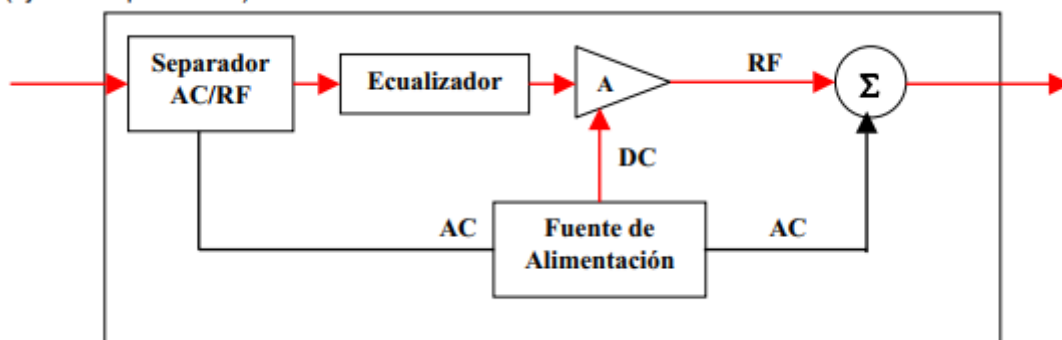


Figura N° 3: Variación de niveles y ecualización dentro de un amplificador de CATV.

El ecualizador atenúa las bajas e ignora las frecuencias altas, en cambio, el atenuador como su nombre lo indica, atenúa todas las frecuencias por igual. El ecualizador, Atenuador y la ganancia constituyen los bloques básicos de un amplificador, pero como se observa en la imagen, puede estar conformado por varios subsistemas con estos elementos, tanto fijos como variables. La imagen también deja ver, que este amplificador tiene una etapa fija que proporciona una “salida plana” (FLAT TILT) y una etapa con ecualizadores y atenuadores variables junto con un amplificador con control automático de ganancia que generar una “salida con pequeño énfasis” (HALF TILT).

Pero... ¿No resulta raro pensar en una red donde tenemos amplificadores y en ningún lado se especifica cómo alimentarlos? Resulta que estos equipos se alimentan mediante la propia red, ya que, los cables coaxiales además de transportar las señales de televisión, transportan una señal de corriente alterna que permiten al amplificador introducir un bloque que rectifica y regula la tensión de alimentación. Como diría el pelao nerd, FASCINANTE.



Sin embargo, en redes CATV los usuarios pueden de alguna manera transmitir contenido a la cabecera. La región espectral designada para dichas funciones se denomina “retorno”. Por lo tanto, los amplificadores son más complejos que el presentado en la imagen anterior, porque deben amplificar, ecualizar y procesar las señales en ambos sentidos.

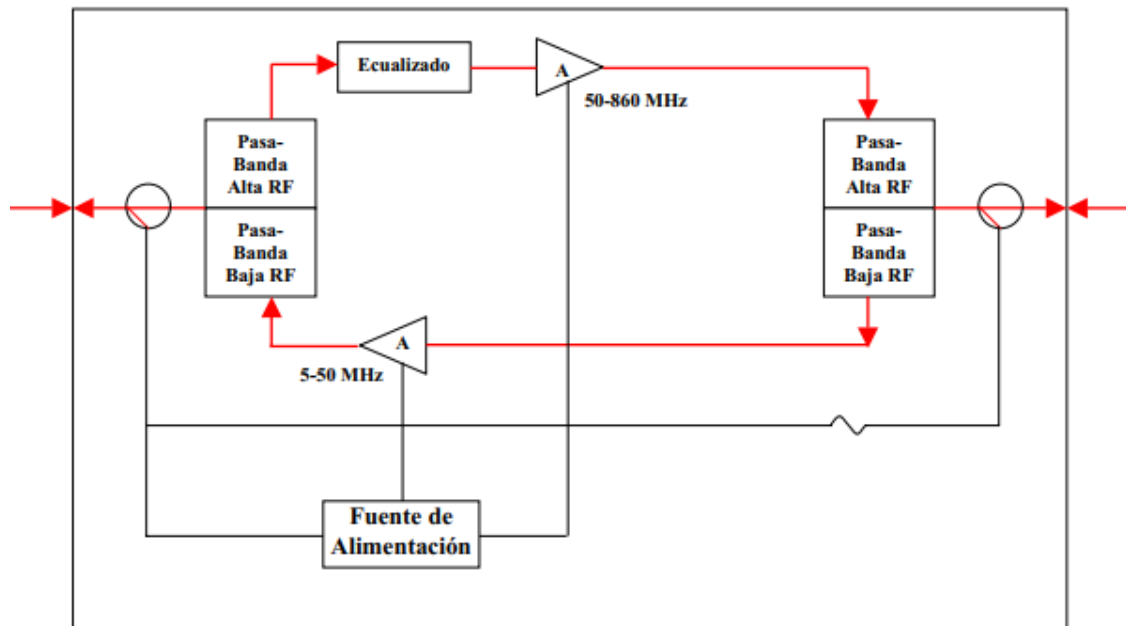
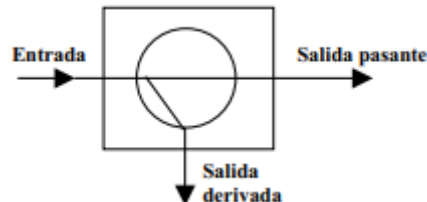
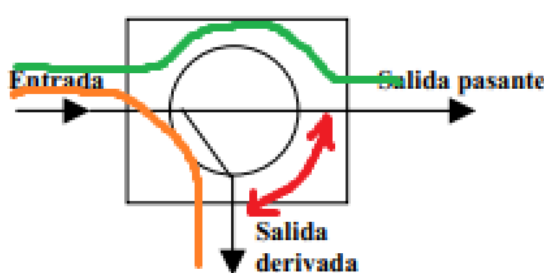


Figura N° 4: Amplificador troncal de dos vías (Directa y retorno).

¿Bastante info de amplificadores y cables no? Bueno, además de amplificadores y cables, en las redes troncales encontramos otro dispositivo, denominado **acoplador direccional**. Este dispositivo, pasivo (no necesita alimentación y no incorpora energía al sistema) a diferencia del amplificador, se encarga de proporcionar a partir de una única entrada, dos posibles salidas con un alto nivel de aislación entre ellas.



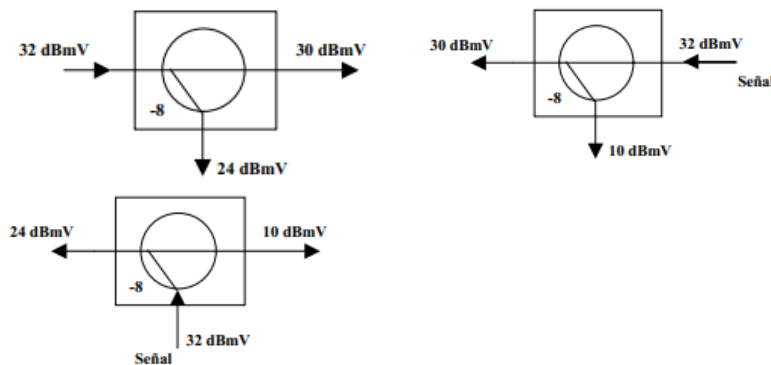
¿Qué significa esto? Tiene relación con lo “direccional” que se presenta en el nombre. Si las señales se incorporan por la entrada, salen con muy poca atenuación por las **salida pasante** y con una atenuación mayor pero no tanto, jeje, por la otra salida, denominada **derivada**. Sin embargo, si la señal se incorpora por la salida pasante, saldrá por la entrada con muy poquita atenuación pero como ambas salidas tienen mucha aislación entre ellas, la señal que salga por la salida derivada sufrirá una atenuación descomunal.



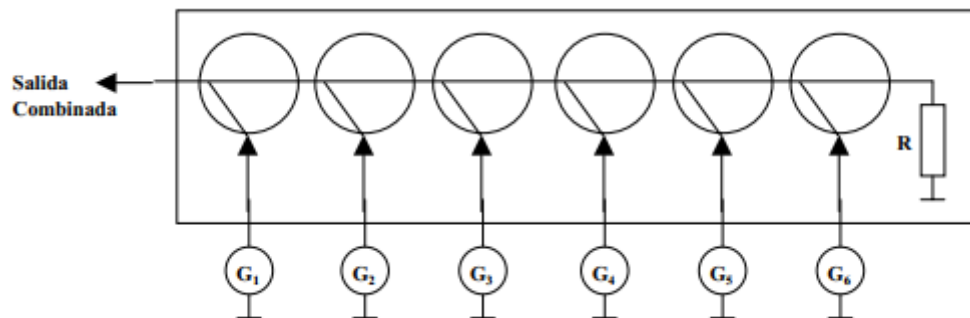
- * Baja atenuacion
- * Media atenuacion
- * Alta atenuacion

Un ejemplo con números se presenta a continuación. El acoplador direccional se define por su pérdida en salida derivada, que para este caso es de -8 dB. Además tiene una pérdida de

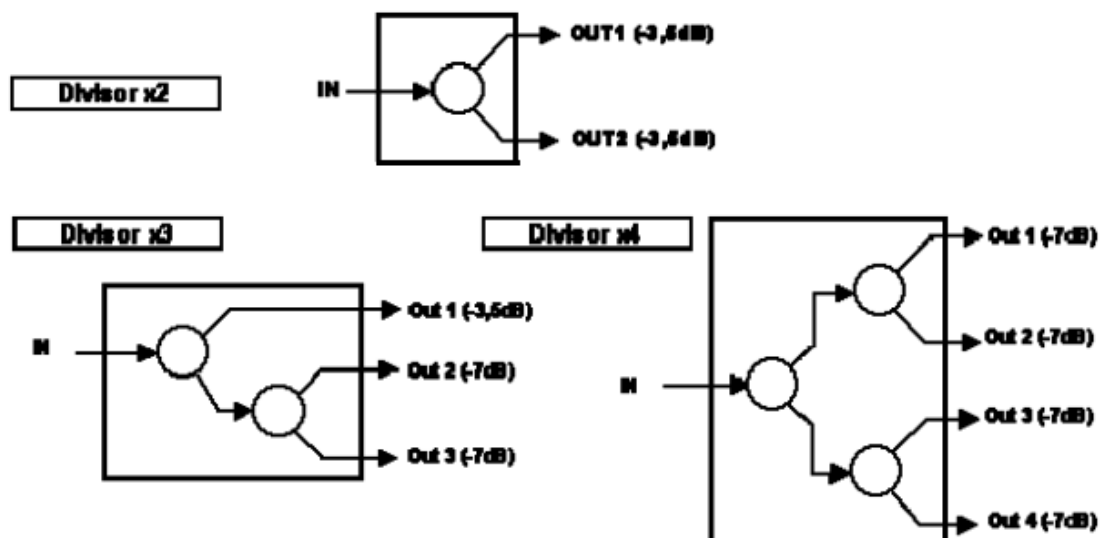
inserción de 2 dB , por lo tanto con una entrada de 32 dBmV se obtiene una salida de 24 dBmV y 30 dBmV, pero observemos qué pasa cuando la señal ingresa por lo que deberían ser las salidas:



¿Para qué mierda me sirve este dispositivo? **Para generar salidas con atenuaciones diferentes.** Es muy útil para conformar sumadores, derivaciones en troncales , diplexores en cabecera para recepcionar señales de retorno y demás.



Si utilizamos splitter o comúnmente definidos como divisores (dispositivo pasivo), estaríamos generando a partir de una determinada entrada, dos salidas con iguales niveles de atenuación. Esto significa que la potencia de entrada de la señal se divide en dos, por lo tanto, la atenuación que presentan los divisores es de - 3dB. Si los conectamos en cascada podemos generar a partir de una única entrada, 3 ,4 ,5 ,6 salidas y más... *Obviamente tenemos que sumar todas las atenuaciones en decibelios para determinar los niveles de salida.*



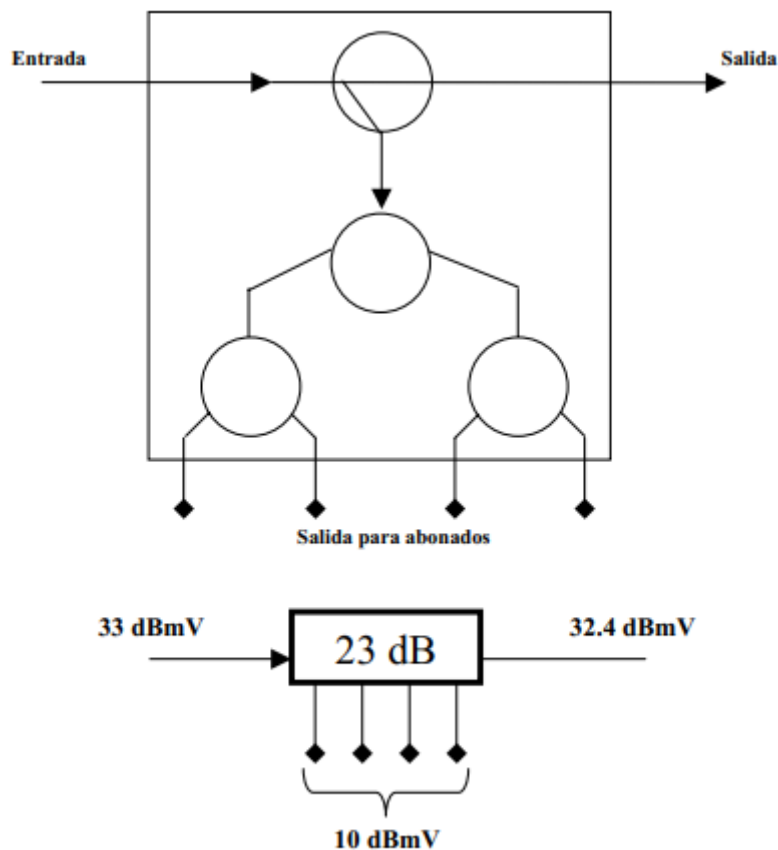
Obviamente, como pueden ser utilizados como divisores, si las señales ingresan por las salidas pueden constituirse sumadores. Los divisores como tal, los encontramos en cabecera para las recepciones de señales RF y en un dispositivo que se encuentra en la “red de dispersión” dentro del plantel exterior de CATV denominado “tap”.

Si hacemos memoria, decíamos que dentro del plantel exterior existen tres tipos de redes: Troncal, distribución y dispersión. Según el apunte las definiciones son estas:

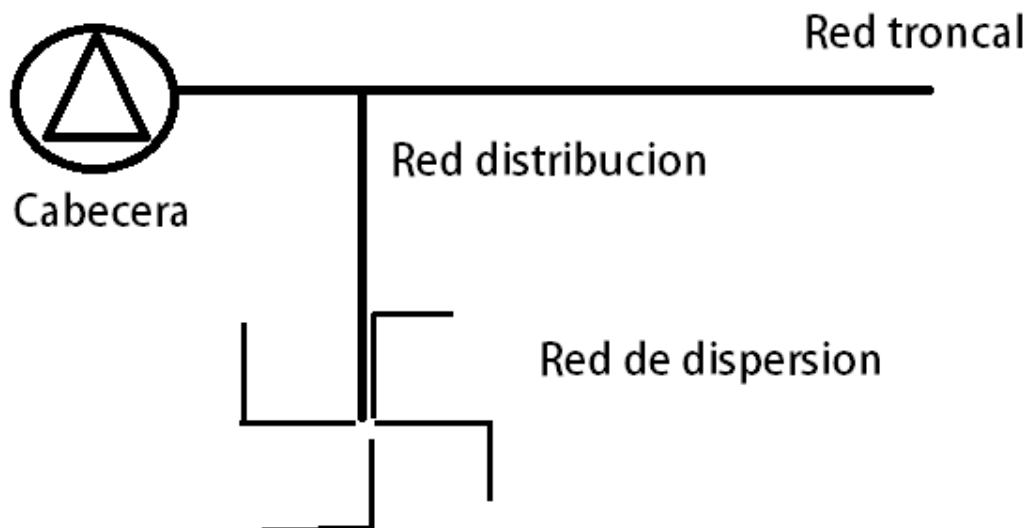
- Red Troncal: Es la encargada de transportar la señal desde cabecera hasta la red de distribución, normalmente bastante alejada de aquella. Puede ser de coaxial o de fibra y si es de coaxial tiene amplificadores troncales y acopladores direccionales.
- Red Distribución: Es la encargada de suministrar las señales desde la red troncal hasta el punto de terminación de la red. Es de coaxial, tiene amplificadores de menor calidad y acopladores direccionales.
- Red de dispersión: Se utiliza para transportar la señal hasta el domicilio del abonado. En este tipo de red por lo general contiene los taps.

A...esa es nueva, no hablaste de los taps. ¿Qué son? Una combinación entre los elementos anteriores (acopladores direccionales y divisores) da lugar al taps, este dispositivo es el nexo entre la red de distribución y el abonado vía la bajada del cable coaxial hasta el receptor o televisor.

La característica del acoplador direccional garantiza baja inserción en sentido pasante y alta aislación entre derivaciones y salida o viceversa. Así también, los divisores presentan importante aislación entre salidas del abonado. Los taps, se caracterizan por un valor en dB que corresponde a la atenuación total entre la entrada de la señal y la salida al abonado.



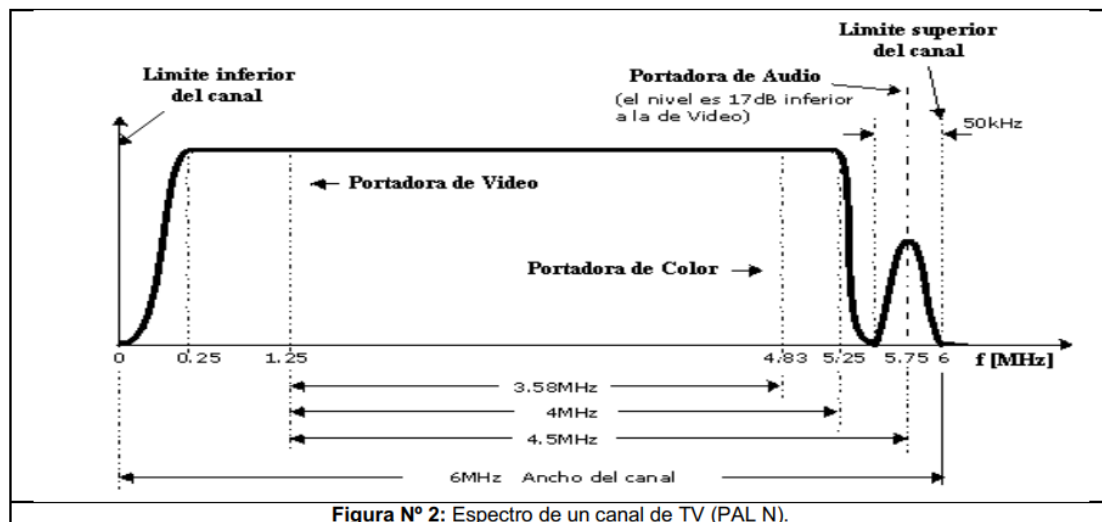
Listo, tenemos una idea de cómo armamos el “plantel exterior”, con que equipamiento y porque, así como también, tenemos identificada la red como una topología tipo árbol que parte de cabecera con una “red troncal”, para luego pasar a una “red de distribución” y finalmente llegar a la “red de dispersión”.



¿Pero qué transmitimos? Qué momento eh, es hora de hablar de la cabecera y la generación de contenido. En primer lugar, tenemos que especificar que bandas de frecuencias se van a utilizar para transmitir contenido. Las redes de CATV pueden operar en cualquiera de los espectros de la banda de VHF (54 a 450 Mhz) o en UHF (450 a 890 Mhz), en definitiva, un rango que comprende frecuencias desde 54 Mhz a 890 Mhz pero los cables tienen una atenuación importante para frecuencias superiores a 300 Mhz, por lo tanto si bien pueden utilizar todo el rango UHF, estaría medio difícil. De esta manera, las redes de CATV utilizan el siguiente rango de frecuencias para transmisiones de cabecera a usuario, **transmisión directa**.

54	88	174	216	300	450	606
BANDA BAJA CANALES 2-6	BANDA MEDIA 95-99 + + 14-22	BANDA ALTA CANALES 7-13	SUPER BANDA (I) CANALES 23-36	SUPER BANDA (II) CANALES 37-63	BANDA UHF CANALES 64-88	
(54-606) MHz						

Pero ¿Cuánto ancho de banda ocupa un canal? El procedimiento por el cual se produce la modulación, arroja una señal de RF de un ancho de banda de 6 Mhz. Dentro de ese ancho de banda, se encuentra información de vídeo, luminancia (brillo) y color, sonido, sincronismo y demás. En definitiva, una señal RF asociada a un canal de televisión es un paquete de información con muchas componentes.



Destacamos portadora de video, color y audio con sus respectivas separaciones entre ellas. Lo importante es que todo el paquete tiene un ancho de banda de 6Mhz y cada componente: Video y audio recibe un tratamiento diferente. ¿Qué tratamiento? **Modulaciones diferentes**. Todo este paquete es trasladado en frecuencia a una región específica, es decir, a una banda específica de las mostradas anteriormente. Es decir, todo el sistema de CATV trabaja con multiplexado por división de frecuencias.

Sin embargo, no debemos olvidar que los usuarios pueden transportar contenido a cabecera, es decir, tenemos una vía de retorno (rango de frecuencias específico). ¿Qué frecuencias se les asigna si ya hablamos de 54 a 606 Mhz, le dan frecuencias más altas? **NO**. A la vía de retorno se le otorga una región espectral contenida entre los 5 y 50 Mhz , es decir un ancho de banda de 45 Mhz donde tendremos 7 canales como mucho.

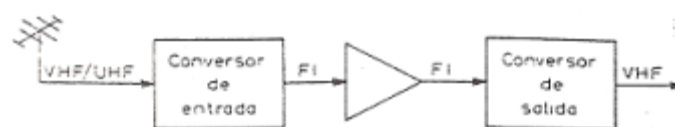
Entonces:

- ☒ 54 – 606 Mhz vía directa , con 6 Mhz para cada canal □ 92 canales en total.
- ☒ 5 – 50 Mhz vía retorno, con 6 Mhz para cada canal □ 7 canales en total.

¿Qué equipamiento necesitamos en cabecera para procesar las señales recibidas y generadas localmente?

- *Procesador heterodino*

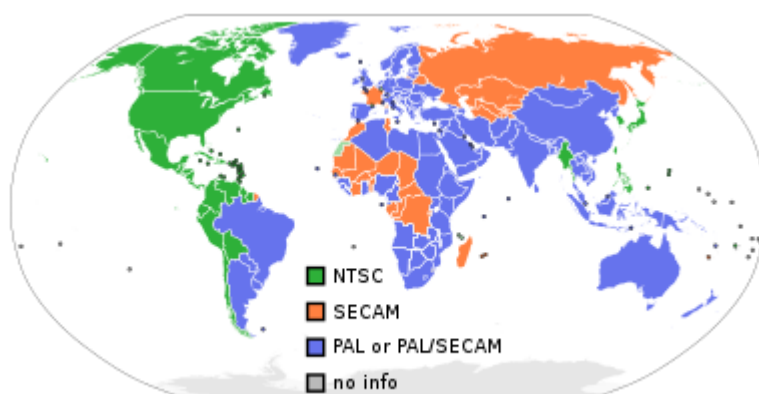
Este equipo tiene como finalidad contribuir a la recepción de una señal RF mediante la realización de tres operaciones. La primera de ellas consiste en trasladar en frecuencia la señal recibida a una frecuencia intermedia, luego amplificarla y finalmente trasladarla nuevamente en frecuencia hacia otra región espectral.



¿Por qué dos desplazamientos en frecuencia? En primer lugar, la primera conversión a una frecuencia intermedia hace más sencillo el trabajo de los amplificadores y la segunda conversión en frecuencia, evita el efecto fantasma en los televisores de los usuarios. ¿WATS? Si no

cambiamos el canal de salida respecto al de entrada, al hacerse presente en la casa del usuario una señal RF ambiente suficientemente fuerte, la no perfecta aislación o blindaje del receptor, haría que sobre la pantalla apareciera la información del canal en cuestión, y si además por cable viene la misma señal, esta, como la velocidad en los cables es menor que en el aire, llegaría retrasada respecto de lo anterior. Todo esto provocaría un fantasma a izquierda sumamente molesto e inadmisibles en sistemas profesionales. Conclusión, sobre un mismo canal habría dos señales recibidas para el televisor, una inalámbrica y otra por cable, al llegar retrasada la del cable respecto a la inalámbrica se produce un efecto fantasma. **Por eso la conversión en frecuencia es obligatoria.**

OJO con las normas. Si las señales de RF recibidas inalámbricamente o satelitalmente tienen las normas adecuadas, se puede utilizar un receptor superheterodino y directamente realizar una conversión de canales de salida respecto a los de entrada e inyectarlas a la red de CATV. Pero si no contienen las normas adecuadas, no se puede utilizar. En su lugar, deberá existir un proceso de demodulación, obtener las señales de video y audio en banda base, convertir de norma la señal de video y luego ingresar con ambas señales a un modulador de canal. ¿Por qué hacemos énfasis en las normas de TV analógica? Porque los televisores son fabricados de acuerdo a las normas de TV analógica de una región en particular y si le entregamos una señal con una norma diferente no podremos visualizar correctamente la información.



El NTSC y el PAL son dos de los estándares de televisión más populares del siglo pasado. Otro estándar que también fue muy popular el siglo pasado es el SECAM, que fue desarrollado en Francia; se popularizó allí, en Europa del Este y en África. En nuestro país (Argentina) se utiliza PAL – N. En este estándar, La señal de video se transmite por el método de modulación de amplitud con polaridad negativa y banda lateral vestigial; con polaridad negativa se quiere significar que para máximo brillo de la imagen corresponderá la mínima amplitud de portadora. Con la polaridad negativa se consigue mayor estabilidad de sincronismo (máxima energía de la portadora).

Comentando un poquito de los estándares en general. En ellos se especifica los esquemas de modulación, ancho de banda, cantidad de líneas, cantidad de imágenes por segundo (fps), frecuencia vertical, frecuencia horizontal, ubicación de portadora de video, audio y demás.

Respecto a NTSC y PAL, la principal diferencia entre ambos estándares es la frecuencia de funcionamiento o, lo que es lo mismo, cuántas imágenes por segundo muestran:

- El **NTSC** (“National Television Standart Committee”) funciona a 29,97 imágenes por segundo.
- El **PAL** (“Phase Alternating Line”) muestra 25 fotogramas por segundo (FPS).

El estándar NTSC tiene más años de los que parece, de hecho, cuando se desarrolló, la televisión era en blanco y negro. En aquella época el NTSC funcionaba a 30 fotogramas por segundo, sin embargo, cuando se inventó la televisión a color surgieron ciertos problemas de compatibilidad.

Y es que los televisores en blanco y negro no podían interpretar bien las señales de las transmisiones a color, mostrando imágenes sin sentido en las pantallas. Para hacer frente a este problema, se tuvo que agregar una señal de crominancia adicional entre las oscilaciones de la señal de luminancia.

De esta manera, los televisores en blanco y negro podían ignorar esta nueva señal, mientras que los televisores a color la utilizaban para mostrar correctamente los colores utilizando un adaptador especial.

Pero esta señal adicional ocupaba espacio y fue necesario alargar el tiempo de transmisión de cada fotograma. Reduciendo así el número de fotogramas por segundo de 30 a 29,97.

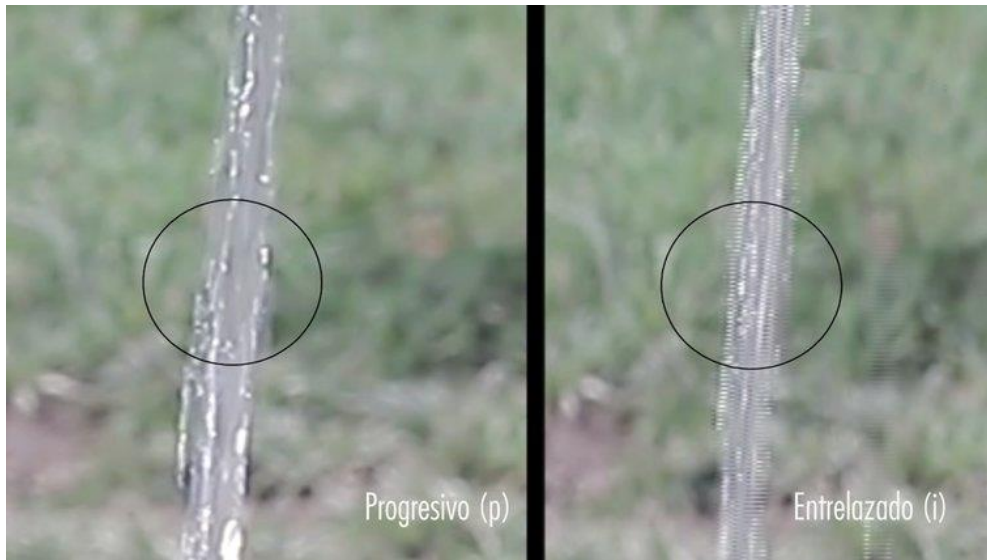
Sin embargo, la implementación del color de NTSC no era reversivo, por lo que cualquier alteración o interferencia en la señal provocaba que los colores se alterasen. Por eso la mayoría de los televisores NTSC tenían un dial para ajustar el color manualmente. Por ese motivo, al NTSC se le conoce cariñosamente como “Never The Same Colour” (nunca el mismo color). **Esto se produce porque NTSC utiliza QAM en la crominancia** (La crominancia es la señal que en los sistemas de vídeo transporta la información de color de la imagen), entonces los errores de fase se traducen en errores de tono y el ojo humano es muy sensible a los errores.

PAL no sufre de este problema ya que fue diseñado con él en mente, de hecho, de ahí el nombre “Phase Alternating Line”. Lo que anulaba el cambio de color con las interferencias. PAL se basa en transformar errores de color en errores de saturación, menos sensibles al ojo humano.

Otra diferencia bastante importante es la resolución:

- NTSC utiliza 525 líneas en formato entrelazado.
- PAL utiliza 625 líneas en formato entrelazado.

Un formato entrelazado solo muestra la mitad de las líneas de una imagen, por lo tanto, se necesitan dos fotogramas para mostrar la imagen completa. En imágenes estáticas la calidad es buena, pero si las imágenes tienen movimientos rápidos se producen unas líneas horizontales muy características.



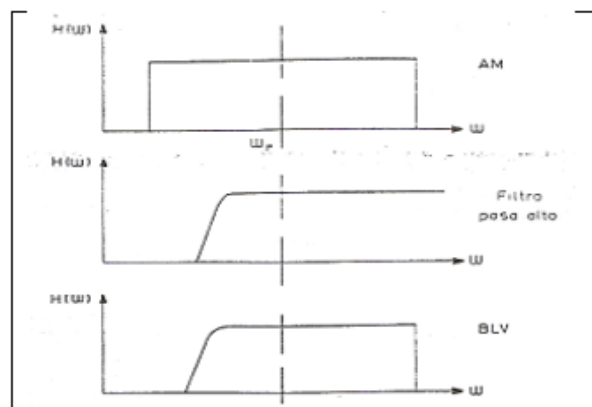
- *Moduladores*

El modulador es el dispositivo electrónico que varía la forma de onda de una señal (modula) de acuerdo a una técnica específica, para poder ser enviada por un canal de transmisión hasta el dispositivo o los dispositivos que incorporen un demodulador apto para dicha técnica. En conclusión, los moduladores transforman las características de las señales de información, que por lo general están en banda base para que puedan propagarse por un canal de comunicación.

En CATV cuando se refiere a señal de información, se hace referencia a señales de video y audio por separado. Los equipos moduladores pueden ser de frecuencia fija o sintonizable, siendo siempre los de mejor calidad los de frecuencia fija, aunque solo sirvan para incorporar información en un canal específico.

- ☒ Modulador de frecuencia fija.
- ☒ Modulador de frecuencia sintonizable.

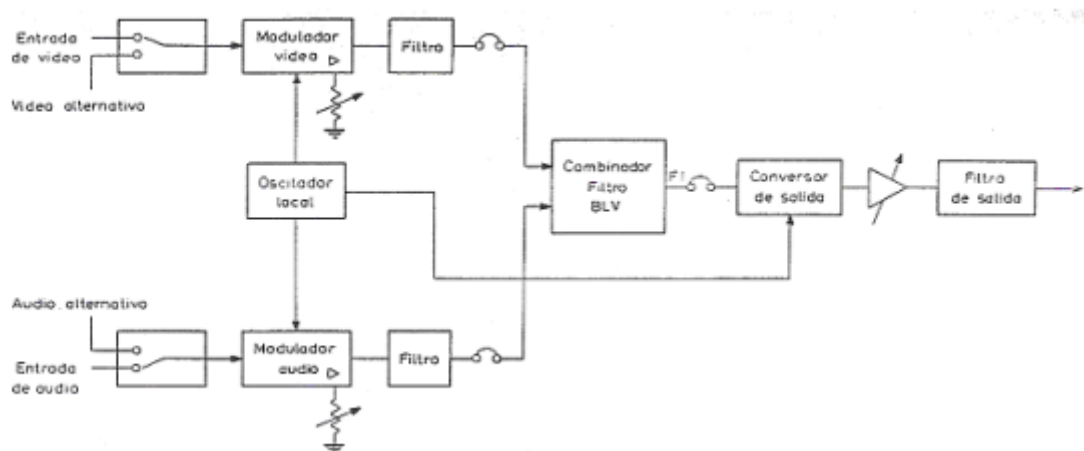
En los moduladores de frecuencia fija, la señal de video se modula en AM y luego se filtra para generar Banda lateral vestigial (BLV). En definitiva, la señal de video es modulado en **AM – BLV** o **AM – BLU**.



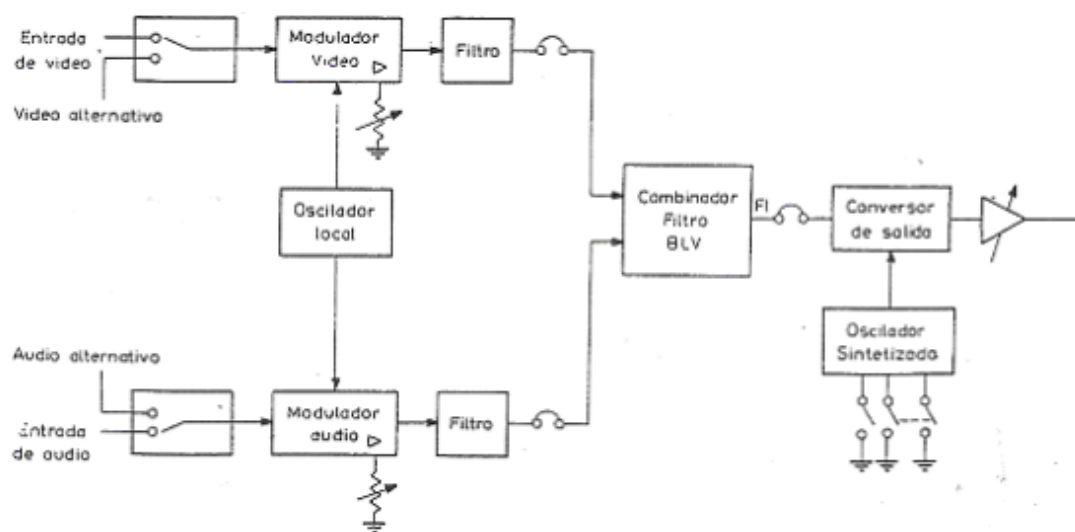
A la salida de este filtro se aplica un amplificador de frecuencia intermedia cuya salida se conecta a un punto accesible en la parte trasera de la mayoría de los moduladores, destinada a proveer facilidades para ingresar con una señal externa de frecuencia intermedia.

Con respecto al audio, se modula en FM y luego se aplica un filtro para eliminar armónicas no deseadas y posteriormente un amplificador. A la salida del mismo, se proporcionan las mismas facilidades que en el caso del video, es decir un punto de interconexión para ingresar a la próxima etapa del modulador, **el procesamiento de las señales para colocarlas espectralmente en las frecuencias de VHF ó UHF de los canales de CATV.**

En estas instancias, con las dos señales moduladas (Audio y video), se coloca un bloque combinador y posteriormente un convertor de frecuencia. Este último bloque posiciona el paquete espectral en la región adecuada (canales en VHF o UHF). Finalmente se aplica un amplificador variable y un filtro para eliminar las componentes espectrales fuera de canal.

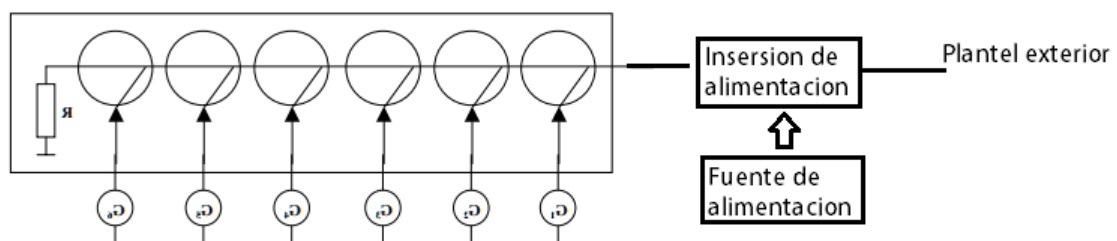


Respecto a los moduladores de frecuencia variable, podemos destacar que se encuentran en cabecera como respaldo a los moduladores de frecuencia fija. ¿Por qué? porque al tener la capacidad de funcionar para cualquier canal de CATV pueden reemplazar momentáneamente a cualquier modulador de frecuencia fija fuera de servicio. ¿Momentáneamente? Si, momentáneamente, porque al tener frecuencia de canal CATV sintonizable, no presentan el último filtro que elimina componentes espurias en el resto de los canales. Es lógico, porque si existiera tal filtro, debería ser variable al igual que el bloque que sintoniza la frecuencia y como que no es tan fácil la cuestión. **Entonces, a pesar de tener básicamente el mismo esquema que un modulador de frecuencia fija para la manipulación de audio y video y presentar un sintonizador variable de canal, no presentan filtro de salida.** Al no tener esta característica, no se puede utilizar masivamente en una cabecera de CATV. De esta manera, se plantea como una solución que permite tener redundancia de 1 a N. Es decir, un equipo de frecuencia sintonizable para N equipos de frecuencia fija.

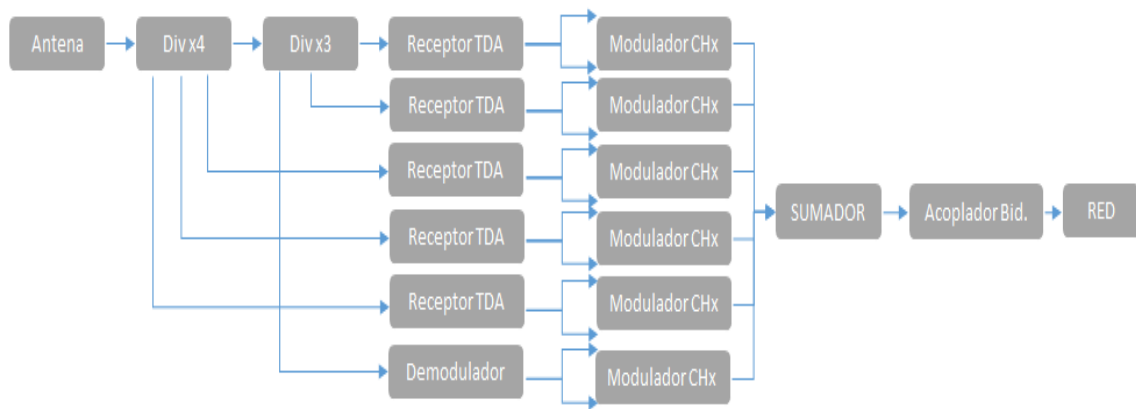


- **Combinadores**

Una vez que se tienen disponibles todas las señales que se van a transportar por la red de CATV, surge la necesidad de combinarlas en un único paquete espectral. Para ello se utiliza un bloque definido como combinador, cuya función, como su nombre lo indica, **es generar una señal de salida que sea la suma de N señales entrantes.** Los combinadores son contruidos a partir de acopladores direccionales.



A continuación se presenta un esquema de la cabecera correspondiente a la universidad nacional de río cuarto que cuenta con una grilla de canales compuesta por 6 canales, donde 5 de ellos provienen de TDA y uno de una transmisión analógica. Las señales de aire fueron recibidas por medio de una antena Yagi instalada en el Pabellón I.



Primero la recepción de todo el paquete de información por medio de una única antena (Yagi), obviamente diseñada para tal fin (ancho de banda suficiente $2 > ROE > 1$).

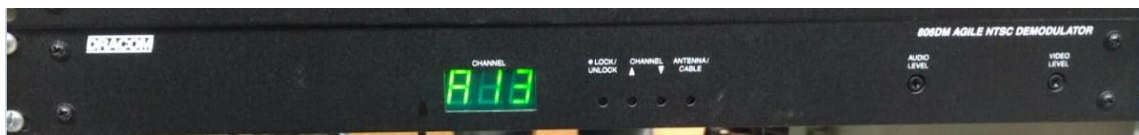


Como necesitamos demodular 5 señales (Canal 13 HD, Encuentro HD, PakaPaka, TV Pública y UNI Rio TV), el cable coaxial RG 11 que llega desde la antena receptora se introduce en un divisor por 4 y luego en otro divisor por 3 y de allí a los receptores. Para demodular se utilizan receptores específicos de TDA y un demodulador analógico.

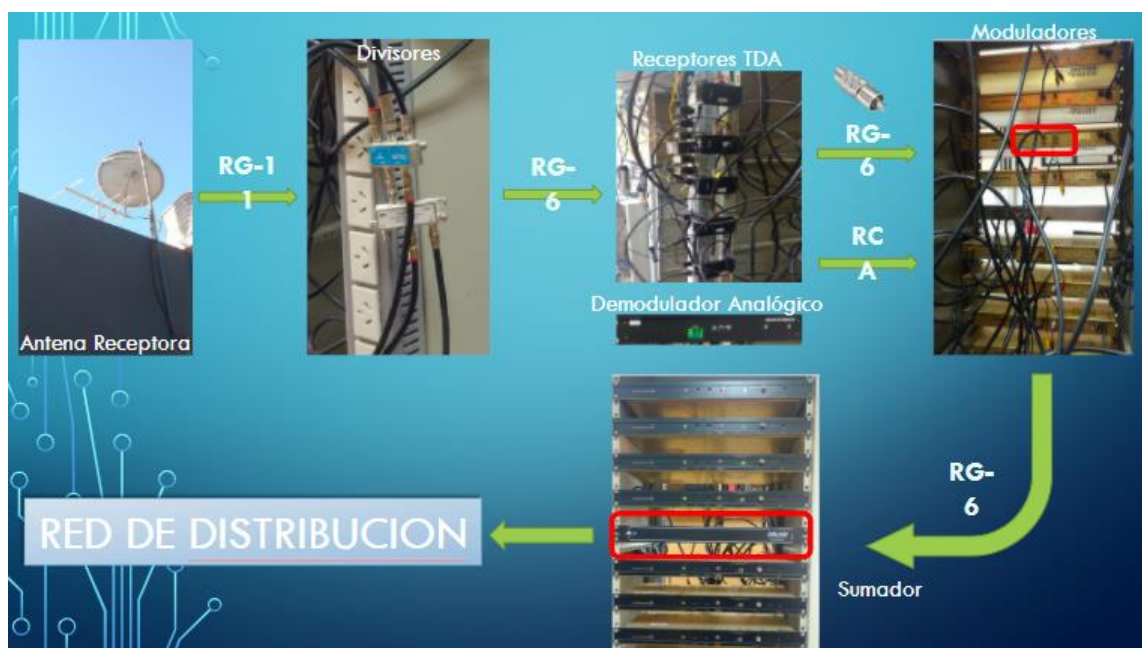


En el caso de los receptores de TDA , Cada uno de ellos debe ser sintonizado en el canal que deseamos ver, para luego enviarlo al modulador de la cabecera CATV que lo ubicara en otro canal para ser distribuido por la red de la universidad, previamente pasando por el sumador. Es necesario destacar que los receptores de TDA entregan video y audio en banda base con las normas correspondientes (PAL-N) porque es contenido nacional.

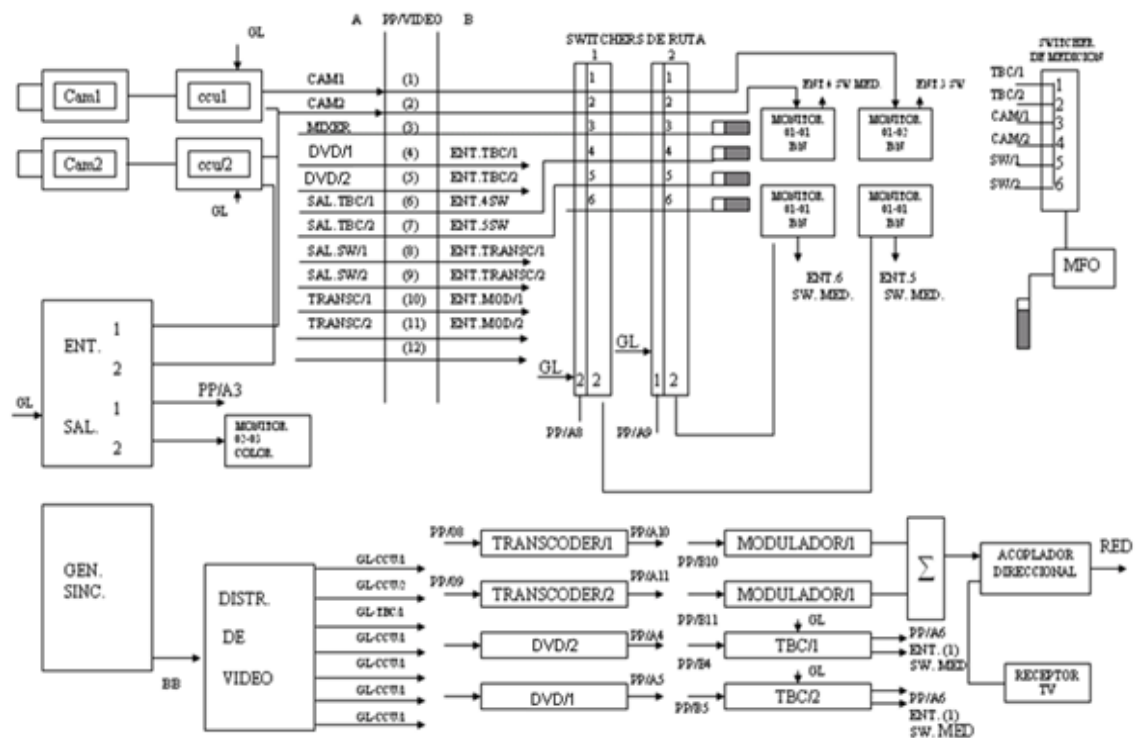
Para introducir Canal 13 Río Cuarto (analógico) que recibimos por aire, debemos tomar señal del divisor y demodular en el canal correspondiente (A13) para luego introducirla en el modulador de la cabecera local.



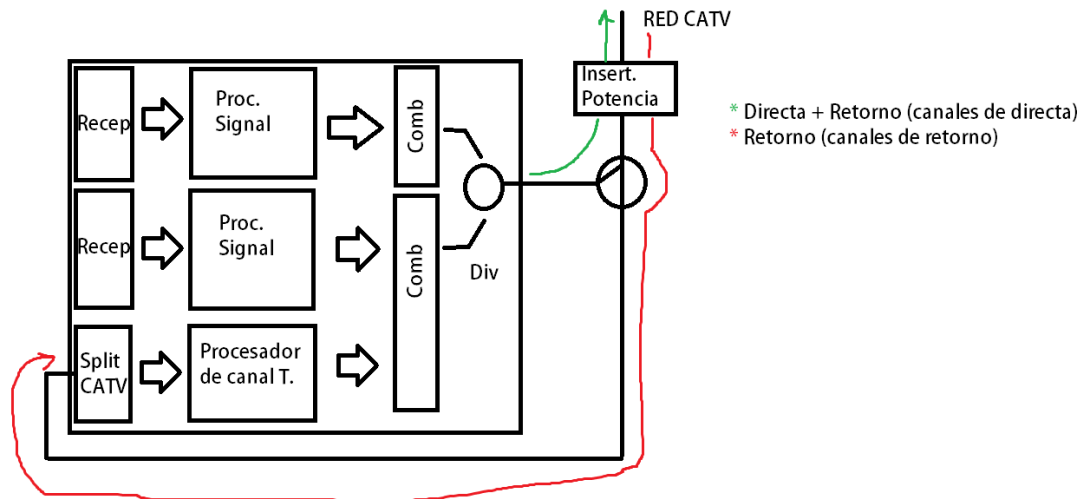
Con todo esto aclarado, el esquema general de la cabecera es el siguiente:



Hay que tener en cuenta que en este ejemplo y en todo el desarrollo del resumen nunca se expuso ningún concepto de la generación de señales. ¿Por qué lo aclaro? Porque dijimos que la función de cabecera era establecer un punto físico dentro de la red de CATV donde se llevarán adelante las siguientes funciones: Recepción, generación, procesamiento y combinación de señales para alimentar todo el sistema de CATV. Hablamos de la recepción, procesamiento y combinación de señales, pero no de la generación. En la generación debe considerarse todo el equipamiento que permita de alguna manera, generar audio, vídeo, sincronizarlo, permitir la conmutación entre diferentes fuentes de manera sincronizada, monitoreo y demás. A continuación, se muestra una imagen de una posible configuración para la generación de señales y su control (Video), existen sistemas distintos para el tratamiento del audio.



Por último para cerrar la cabecera es necesario mencionar que algunas veces en determinados canales no se transmite información televisiva, sino que se transmite un tono piloto para facilitar el trabajo de los AGC (control automático de ganancia) en los amplificadores en plantel exterior. También, una particularidad de cabecera es que si existe vía de retorno se utiliza una configuración de este estilo:



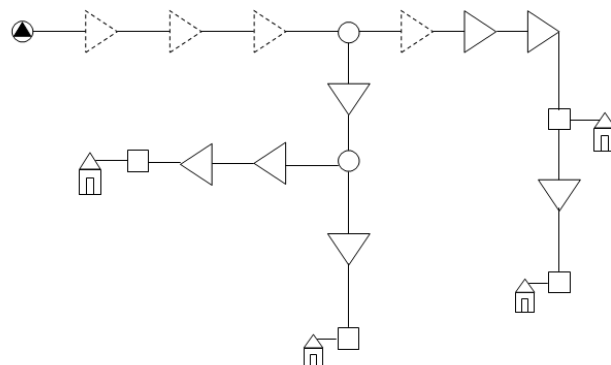
¿Qué es un “Procesador de canales T”? Son equipos que cumplen la misma función que el procesador de señal (procesador heterodino), con la diferencia de que su entrada es un canal de retorno con un modulador T. Esto significa que los usuarios de la red CATV, si utilizan la vía de retorno, deben adquirir un equipamiento definido como modulador T.

Esto muestra que el sistema de CATV tiene la capacidad de reinyectar las señales generadas por los usuarios en la propia red, en canales diferentes a los que llegaron en cabecera (canales de retorno se transforman en canales de directa).

El último punto a hablar en CATV es muy muy muy importante y... ¿Qué te juego que no adivinas de qué se trata? **Calidad de servicio**. No tenemos que olvidar que todo esto, lo estamos haciendo para proporcionar un servicio y no por diversión. Como todo servicio debe proporcionar una calidad determinada, si no es así, contratan otro. ¿Cómo perciben la calidad los usuarios de un sistema CATV? Obviamente por los efectos y fenómenos que aparecen en la televisión, pero como estudiamos ingeniería, desde nuestro lado, como administradores de sistemas, le damos un nombre y una explicación matemática a esos efectos. Los requerimientos de servicio en CATV son por lo general 3. *Relación portadora ruido*, definido como **C/No**, *distorsión de segundo orden*, definido como **DSO**, *triple batido compuesto*, definido como **CTB** y *modulación cruzada*, definido como **MX**. Respecto a los dos últimos puntos, dependerá del sistema CATV, el criterio de calidad que se tomará y cuál parámetro resultará más importante. Ya explicaremos por qué.

PARÁMETROS DE DISEÑO ESPECIFICADOS:

- $C/N_{0.5}$ 43 dB
- DSO < -51 dB
- CTB < -52 dB



Respecto a la *relación portadora a ruido*, primero es necesario definir lo que se conoce como ruido. Se denomina ruido a toda señal no deseada que se mezcla con la señal útil que se quiere transmitir. Es el resultado de diversos tipos de perturbaciones que tiende a enmascarar la información cuando se presenta en la banda de frecuencias del espectro de la señal, es decir, dentro de su ancho de banda. En los sistemas de comunicación existe una fuente de ruido imposible de eliminar, el famoso **ruido térmico**.

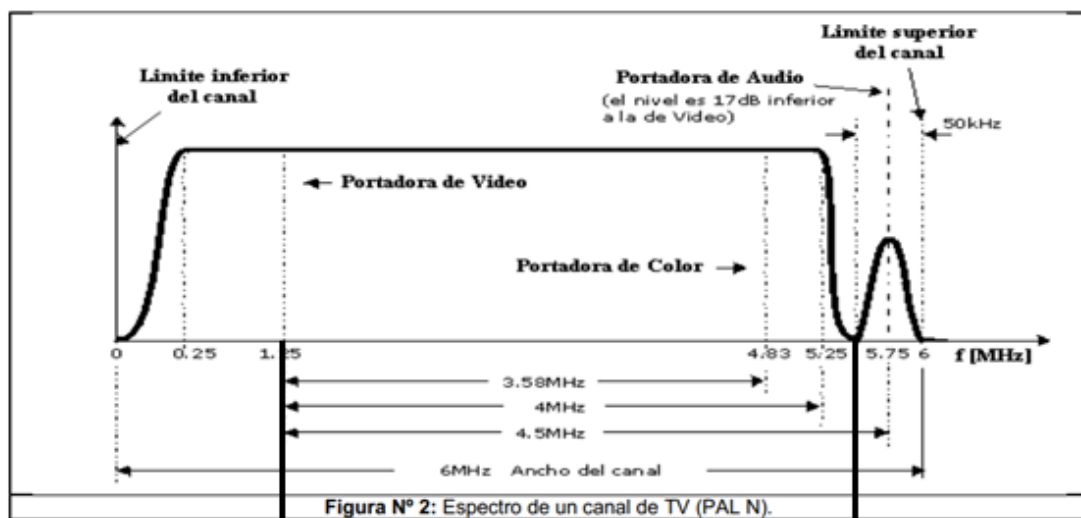
¿Qué es el ruido térmico? El ruido térmico es aquella fuente de ruido generada por el propio movimiento de los electrones dentro de los materiales conductores. Es un fenómeno independiente del voltaje aplicado y que estará presente siempre cuando se quiera transmitir una señal por un conductor. ¿Entonces de que depende? Básicamente de tres parámetros:

- **constante de Boltzmann** : $1,3806 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
- **Temperatura en Kelvin.**
- **Ancho de banda del sistema (Hertz)**

De esta manera, la potencia de ruido queda definida por la siguiente ecuación:

$$Pot_{noise} = KxTx\Delta B$$

Donde el parámetro "T" se considera típicamente (20° C) o lo que es lo mismo (293° K). Un detalle importante es que se produce ruido a temperaturas mayores al cero absoluto. Si pudiéramos mantener la temperatura de los conductores en cero no tendríamos ruido. Respecto a ΔB para un sistema de CATV si bien tenemos un ancho de banda de 6 Mhz , se considera a fines prácticos que es 4,2 Mhz. ¿Por qué? La norma PAL – N define un parámetro como anchura nominal de la banda lateral principal, cuyo valor es 4,25 Mhz.



5.5 Mhz - 1.25 Mhz
4.25 Mhz

En definitiva la potencia de ruido en watts es :

$$Pot_{noise} = 1,62 \times 10^{-14} \text{ watts}$$

Una potencia muy pequeña. Trabajar con dicho número resulta molesto, ya que los valores de potencia que manejamos para las transmisiones son mucho mayores, por lo tanto, para hacer más cómodo la manipulación de unidades con mucha diferencia de amplitud utilizamos decibeles, además que todos los productos y divisiones se trabajan como sumas y restas. De esta manera transformamos la potencia de ruido a decibeles medidos respecto a una **potencia de referencia**.

¿Qué potencia de referencia utilizamos? 1mV para un sistema de CATV donde la impedancia característica de los cables es de 75 Ohm. Por lo tanto, la potencia instantánea resulta:

$$P_{inst(ref)} = \frac{V^2}{R} = \frac{(1 \text{ mV})^2}{75 \text{ ohm}} = 0,0133 \times 10^{-6} \text{ Watts}$$

Entonces, expresamos la potencia de ruido térmico respecto a esta referencia.

$$P_{dB} = 10.\log \log \left(\frac{P_{ruido}}{P_{ref}} \right) = -59 \text{ dB}$$

Acá se hacen presente los famosos “-59 dB” utilizados en el cálculo de la figura de ruido. Es decir, que en el cálculo de la **figura de ruido** estamos considerando el ruido presente en la entrada de un amplificador como producto de la propagación de una señal de CATV por un cable coaxil de impedancia característica (75 Ohm). En este esquema, el cable no es que agregue más ruido que $1,62 \times 10^{-14} \text{ watts}$ sino que atenúa las señales útiles transmitidas, esto hace que a medida que se propaga por el cable, el piso de ruido sigue inmóvil y la señal se hace más pequeña disminuyendo la relación señal a ruido.



Entonces si logramos amplificar nuevamente la señal lograríamos incrementar la relación señal a ruido y todo bien!. Pues claro que no mi ciela, así no funciona la cuestión. Porque como el amplificador es un dispositivo electrónico, además de amplificar la señal, agrega un plus de ruido que se suma al piso de ruido en la entrada, entonces cada vez se incrementa más dicho nivel. Este concepto se refleja en el parámetro mencionado anteriormente definido como **figura de ruido**. La figura de ruido nos indica cuanto ruido adicional agrega la incorporación al sistema de un amplificador extra.



Por lo tanto, para caracterizarlo, planteamos la Si/Ni – So/No de la siguiente manera:

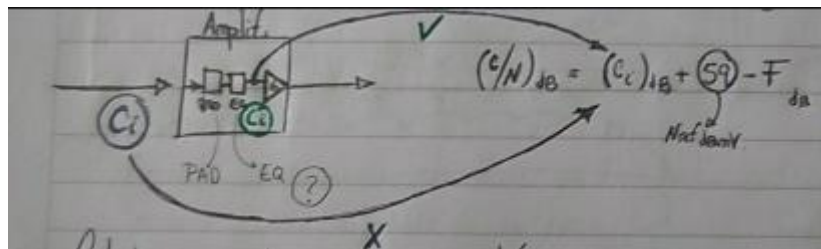
$$F = \frac{\frac{S_i}{N_i}}{\frac{S_o}{N_o}} = \frac{\frac{C_i}{N_i}}{\frac{C_o}{N_o}}$$

La matemática nos permite despejar Co/No de la siguiente forma:

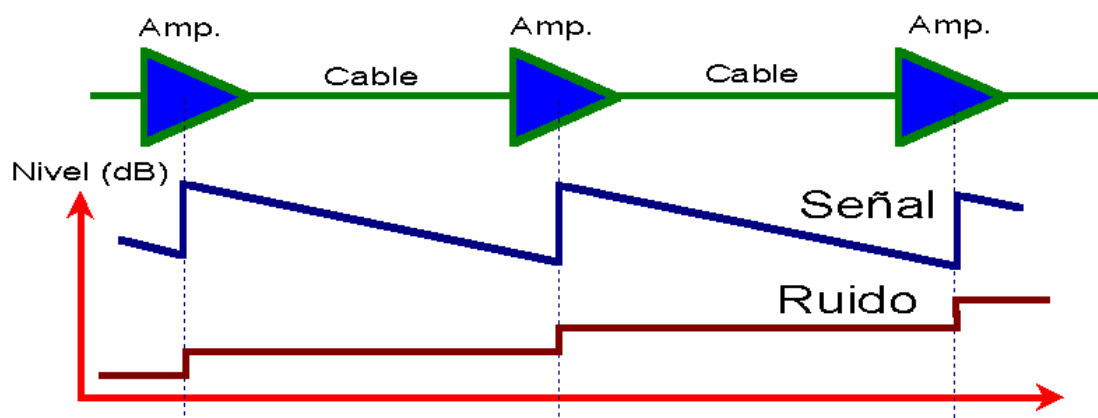
$$F = \frac{\frac{C_i}{N_i}}{\frac{C_o}{N_o}} \rightarrow \frac{C_o}{N_o} = \frac{C_i}{N_i} \cdot \frac{1}{F} \rightarrow \frac{C_o}{N_o} (dB) = \left[\frac{C_i}{N_i} \right] (dB) - F (dB)$$

$$\frac{C_o}{N_o} (dB) = C_i (dB) - N_i (dB) - F (dB)$$

Donde Ni ya sabemos que es -59 dB y F es un valor proporcionado por el fabricante. El valor Ci corresponde al nivel antes de la entrada del bloque de ganancia, posterior al ecualizador y atenuador. Pero, si las frecuencias bajas y las altas se atenúan distinto por kilómetro recorrido en el cable ¿qué nivel consideramos? Los peores, los de las frecuencias altas.



Perfecto, pero... ¿qué ocurre en una cadena de amplificadores?



Esto demuestra que la incorporación de una cadena de amplis nos juega remil en contra, ya que en cada etapa el piso de ruido se incrementa. Por eso, debe diseñarse con cuidado el plantel exterior para tener noción de con qué nivel de C/N lograremos llegar a los usuarios.

Matemáticamente hablando, para una cadena de amplificadores iguales (Misma figura de ruido proporcionada por fabricante y mismo nivel de operación) la C/N equivalente a toda la cascada de amplis será:

$$\frac{C_o}{N_o}(dB)_{equiv.} = \frac{C_o}{N_o}(dB)_{primero} - 10 \log (N)$$

$$\frac{C_o}{N_o}(dB)_{equiv.} = C_i(dB) + 59 - F (dB) - 10 \log (N)$$

En el caso de tener que calcular dicho parámetro para una cadena de amplificadores donde no se tiene la misma figura de ruido o nivel de operación se debe utilizar una ecuación similar a la que se utiliza para el cálculo de resistencias en paralelo.

$$\frac{1}{CNR_{tot}} = \frac{1}{CNR_1} + \frac{1}{CNR_2} + \dots + \frac{1}{CNR_N}$$

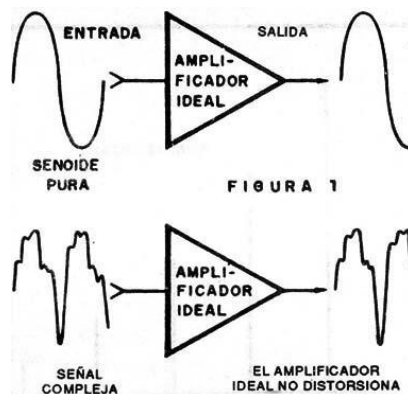
Obviamente nosotros utilizamos por comodidad la ecuación en decibeles.

$$(CNR_{tot})dB = -10 \log [10^{-(CNR_A)dB/10} + 10^{-(CNR_B)dB/10} + \dots + 10^{-(CNR_N)dB/10}]$$



Ahora, el deterioro de la relación señal a ruido producto de utilizar amplificadores dentro del plantel exterior no es el único inconveniente que plantea la utilización de estos equipos. Recordemos que no existen amplificadores perfectamente lineales. **Si bien es lo que buscamos, que la salida sea directamente proporcional a la entrada, jamás lo lograremos.** Cualquiera sea la forma de la onda aplicada a la entrada, debería aparecer en la salida, la misma forma de onda, pero más grande.

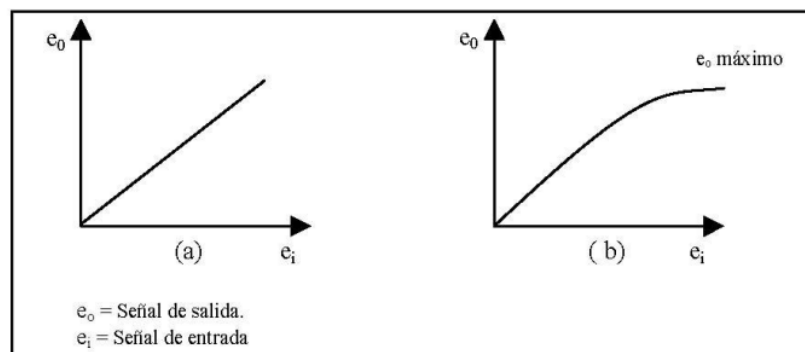
Dejo enlazado una página que muestra todos los efectos que hacen a la no linealidad de los amplificadores: <http://www.incb.com.mx/index.php/articulos/53-como-funcionan/988-como-funcionan-distorsion-art194s>



Esto explica que la función de transferencia del amplificador debería ser sin duda una línea recta, por lo que se dice que tiene una característica lineal. Si escribimos la función de tensión de salida en función de la entrada, encontraríamos que:

$$V_o = G \cdot V_i$$

Pero ningún amplificador es perfectamente lineal. Siempre habrá alguna curvatura en las características. Para señales de baja amplitud de entrada, la curvatura es casi una línea recta, pero la curvatura se hace más notable cuando incrementamos la tensión de entrada. Esto significa que, a bajos niveles de entrada, la salida será una réplica escalada de la entrada y a niveles altos de la entrada, la salida será una versión distorsionada de la entrada y además ni siquiera amplificada. En este punto se dice que el amplificador está saturado.



La ecuación que describe la función de transferencia de un amplificador real es la siguiente:

$$V_o = A \cdot V_i + B \cdot V_i^2 + C \cdot V_i^3$$

El primer término responde a la linealidad del amplificador, el resto es toda distorsión introducida por el mismo. Cuando se consideran las distorsiones que aportan las componentes de segundo orden ($B \cdot V_i^2$), se habla de *distorsiones de segundo orden*. ¿Te queda claro pa? Jeje. Nah, hablando posta, estas distorsiones generan que cuando sobre la entrada se incorporan señales compuestas (suma de dos o más señales de diferentes frecuencias) en la salida además de aparecer dichas señales amplificadas (término " $A \cdot V_i$ ") aparecen componentes espectrales que antes no existían. Es decir, aparecen componentes en frecuencia asociadas a la suma y diferencia entre las frecuencias de la entrada y también componentes que resultan el doble de las frecuencias de entrada.

Distorsión de segundo orden caracterizado por:

- ➔ Componentes en la salida asociadas a f_i
- ➔ Componentes en la salida asociadas a $2 \cdot f_i$
- ➔ Componentes en la salida asociadas a sumas y diferencias entre frecuencias en la entrada. Ejemplo: Dado la transmisión de (f_1, f_2, f_3) , se genera en la salida además de lo comentado anteriormente.. $f_1 + f_2$, $f_1 + f_3$, $f_2 + f_3$, $f_1 - f_2$, $f_1 - f_3$, $f_2 - f_3$. Si fueran más frecuencias ya sabes cómo sigue la gilada.

Los fabricantes de equipos proporcionan el peor valor de distorsión de segundo armónico para el nivel de referencia de salida de la señal. La DSO indica la relación entre la distorsión de segundo orden y la portadora de la señal.

Recordemos que este fenómeno se hace más visible si trabajamos con niveles de señal de entrada superiores de los que se banca el amplificador para la linealidad.

Por lo tanto, por cada dB que se incremente de señal de salida respecto a la referencia indicada por el fabricante, la DSO empeora en un dB.

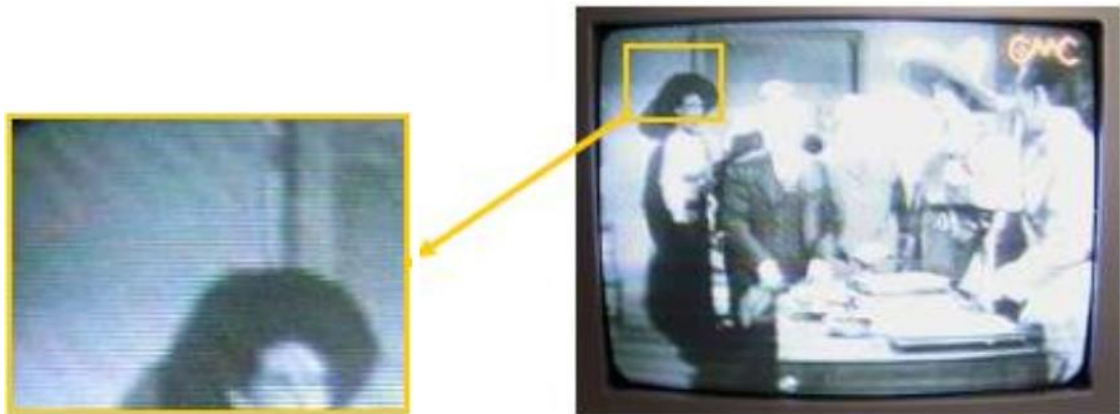
$$DSO_{REAL} = DSO_{REF} (dB) + (L_{OPE} - L_{REF})$$

Con este dato podemos calcular la distorsión de segundo orden (DSO) para una cadena de amplificadores que trabajan con los mismos niveles de referencia de DSO y los mismos niveles de operación, de la siguiente manera:

$$DSO_{TOT} = DSO_{REAL} (dB) + 10 \cdot \log(N)$$

No nos asustemos por la presencia de una suma en DSO, en lugar de una resta como era en CNR, ya que como se especificó más arriba (*Lo volvemos a decir*) la DSO está representando el grado de distorsión de la salida respecto a la señal útil, si metemos más amplis en cascada, la distorsión es mayor respecto a la señal útil, en cambio, para CNR, como estamos midiendo la relación entre portadora y ruido y el ruido crece en las diferentes etapas de amplificación, la relación disminuye, porque es pensada al revés.

Los batidos de segundo orden producen en la imagen rayas diagonales delgadas que se mueven, y son más notorias donde hay fondos amplios que no deberían variar de ninguna manera y lo hacen debido a esta distorsión.



En caso donde existan una cadena de amplificadores donde no trabajan con los mismos niveles de salida o son distintos directamente, es decir, tenemos diferentes valores de “Loper” o “DSOref” debemos utilizar una ecuación muy parecida a CNR, es decir, como si fuera una suma de resistencias en paralelo.

$$\frac{1}{DSO_{total}} = \frac{1}{DSO_1} + \frac{1}{DSO_2} + \dots + \frac{1}{DSO_N}$$

$$(DSO_{tot})dB = -10 \cdot \log \left[10^{\frac{-(DSO_{real A})dB}{10}} + 10^{\frac{-(DSO_{real B})dB}{10}} + \dots + 10^{\frac{-(DSO_{real N})dB}{10}} \right]$$

Cuando se empieza a tener en cuenta la influencia del término cúbico en la ecuación de la tensión de salida del amplificador, aparecen las distorsiones de tercer orden. Para facilitar el estudio de todos los fenómenos los presentamos por separado, es decir, analizamos solamente la influencia del término “ $B \cdot Vi^2$ ” en primer instancia, para observar el comportamiento de DSO y posteriormente analizamos solamente el término “ $C \cdot Vi^3$ ” para

observar el comportamiento de las distorsiones de tercer orden. Pero en la realidad ocurren todos juntos.

Si consideramos una señal de entrada al amplificador de la forma $V_i = A \cos(w_1 t) + B \cos(w_2 t) + C \cos(w_3 t)$, encontraremos que realizar $C.V_i^3$, es decir $[A \cos(w_1 t) + B \cos(w_2 t) + C \cos(w_3 t)]^3$ arrojará muchos términos pero que agrupando se encuentran los siguientes:

➔ $\cos(w_i t)^3$ Justifica la aparición de armónicos de tercer orden (**Modulación cruzada MX**)

Si trabajamos con este término podemos demostrar que genera un " $\cos(3w_i t)$ " entre otros. Es decir, genera componentes del estilo 3fi

➔ $\cos(w_i t)^2 \cdot \cos(w_j t)$

➔ $\cos(w_1 t) \cdot \cos(w_2 t) \cdot \cos(w_3 t)$

Ambos términos, si los trabajamos, observamos que generan componentes espectrales en $2f_i \pm f_j$ cuando i e j son diferentes y También generan términos del estilo $\pm f_1 \pm f_2 \pm f_3$ conocidos como **triple batidos compuestos (CTB)**.

La causa de CTB es la distorsión de tercer orden. La distorsión de tercer orden es producida por la mezcla de tres frecuencias portadoras dentro de dispositivos no lineales (amplificadores) que produce una señal distorsionada.

La mezcla de las frecuencias de las tres señales se puede dar por la suma y resta de las mismas, es decir por $\pm f_1 \pm f_2 \pm f_3$ y además por la suma y diferencia entre una de las frecuencias y la segunda armónica de cualquiera de las dos frecuencias restantes, así:

$$\pm 2f_1 \pm f_2$$

$$\pm 2f_2 \pm f_1$$

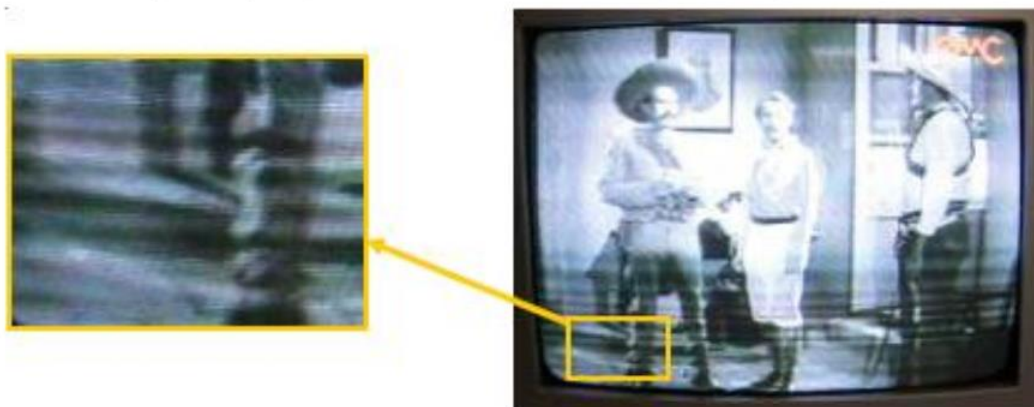
$$\pm 2f_3 \pm f_1$$

$$\pm 2f_1 \pm f_3$$

$$\pm 2f_2 \pm f_3$$

$$\pm 2f_3 \pm f_2$$

Como se ve son incontables las combinaciones (batidos) que existen, pero las que afectan son aquellas que se localizan dentro del rango de frecuencias del sistema. En general, se considera que el CTB se vuelve sobresaliente en sistemas de 21 o más canales, mientras que, por debajo de dicho valor, la distorsión más sobresaliente es la MX.



¿Cómo damos números a este parámetro? Para calcular la MX producida por un único amplificador, la ecuación a utilizar es:

$$XM_{REAL} = XM_{REF} + 2 (L_{OPER} - L_{REF})$$

Esta ecuación está expresando la relación entre cantidad de señal interferente producto de distorsiones de tercer orden frente a señal útil. Por lo tanto es un valor negativo, se espera que en un sistema de CATV siempre hay menos cantidad de señal interferente que señal útil. Además, mientras el valor absoluto sea más grande mejor será. Es decir, -90 dB de XM es mejor que -60 dB.

Los componentes de la ecuación son los siguientes:

- “XM” Modulación cruzada del amplificador en dB.
- “XMref” modulación cruzada del amplificador en dB especificada en el nivel dado por el fabricante.
- “Loper” nivel de salida que se operará en el amplificador en dBmV.
- “Lref” nivel de salida especificado por el fabricante en dBmV.

Para una cascada de amplificadores donde los valores de referencia son iguales y los niveles de salida también para todos, podemos plantear la siguiente ecuación:

$$XM_{TOT} = XM_{REAL}(primero) + 20 \log (N)$$

Si los niveles de referencia de MX son diferentes o se opera con otros niveles de salida a cada uno de los amplificadores que forman parte de la cascada, debe utilizarse la siguiente ecuación.

$$(XM_{TOT})dB = -20 \log \left[10^{\frac{-(XM_A)dB}{20}} + 10^{\frac{-(XM_B)dB}{20}} + \dots + 10^{\frac{-(XM_N)dB}{20}} \right]$$

También debemos considerar las ecuaciones para el cálculo de CTB.

$$CTB_{REAL} = CTB_{REF} + 2 (L_{OPER} - L_{REF})$$

En caso de utilizar una cascada de amplificadores donde todos ellos, poseen los mismos niveles de referencia de triple batido compuesto y niveles de operación tenemos:

$$CTB_{TOT} = CTB_{REAL} + 20 \log (N)$$

En caso contrario:

$$(CTB_{TOT})dB = -20 \log \left[10^{\frac{-(CTB_A)dB}{20}} + 10^{\frac{-(CTB_B)dB}{20}} + \dots + 10^{\frac{-(CTB_N)dB}{20}} \right]$$

Por último, hay una distorsión más que se llama Modulación de Zumbido (HUM) pero que no se ve en profundidad. Lo único que hay que saber es qué determina si la señal de TV está afectada por la red eléctrica y que si aparece es por problemas en las fuentes de alimentación de los amplificadores. Se calcula como XM y CTB.

Un resumen de los factores de calidad nos dice que, si aumentamos en 1 dB en el nivel de salida, C/N aumenta, DSO empeora en 1 dB y CTB junto con MX empeoran en 2 dB.

Conclusión, la inclusión de un dispositivo activo en la red, que levanta los niveles de la señal producto de las atenuaciones del cable, mete un montón de quilombo a la red, por lo tanto, el troncal de cable coaxil suele ser reemplazado por troncal de fibra, dando origen a las famosas redes HFC.

Video final:



TV digital

Preguntas...

¿En qué consiste la TV digital?

¿Por qué se plantea como una evolución de las redes de CATV?

¿Qué estándares existen? ¿Cuál adoptó nuestro país?

¿Qué modificaciones deben realizarse para implementar esta tecnología? ¿Qué hay que cambiar en la cabecera? ¿Qué hay que cambiar en plantel exterior?

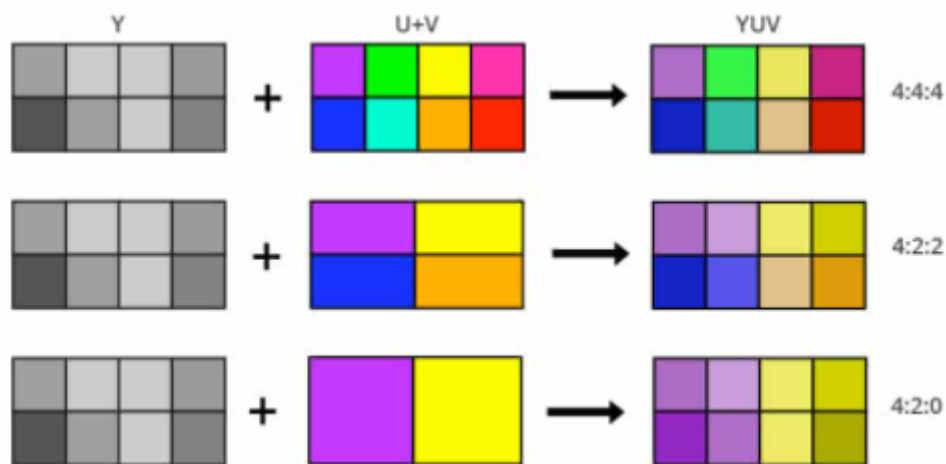
Respuestas...

La Tv digital como su nombre lo indica consiste en un proceso de digitalización que involucra la generación y transmisión de información. El primer gran paso fue digitalizar las señales de video generadas en los estudios de televisión. Este proceso involucra digitalizar las componentes de luminancia (brillo) y color (azul y rojo). El primer estándar fue SDI (Serial digital interface). Básicamente, lo que se planteaba era obtener 4:2:2 lo que significaba que cada 4 muestras de luminancia (brillo) se extraían 2 muestras de azul (Cb) y 2 muestras de rojo (Cr) . Puede que te hayas dado cuenta que falta el canal verde en este espacio de color y, efectivamente, así es. Con el modelo $YCbCr$ el color verde se crea a través de unos cálculos matemáticos sabiendo los datos de los otros canales.

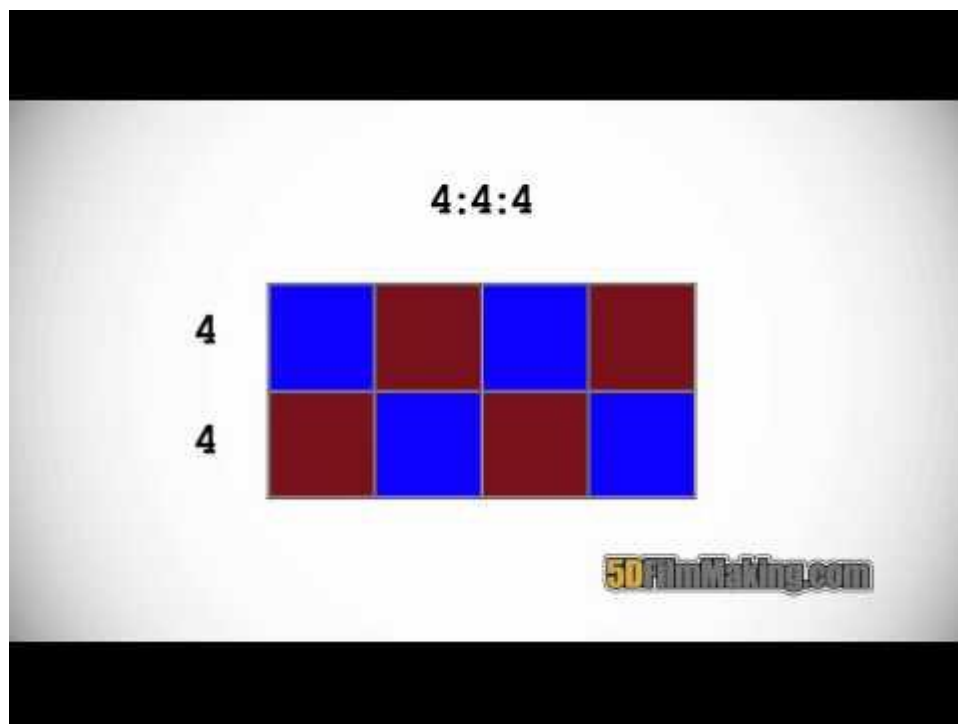
El valor 4:2:2 hace referencia al muestreo de color. ¿Cómo funciona de manera sencilla? En primer lugar, necesitamos definir que un sensor captura información y la almacena en píxeles, y que en cada uno de ellos es donde potencialmente se obtendrá la información de color (y de luminancia). Pero depende de la cantidad de píxeles que se usen como muestra (o se tome información de ellos), tendremos un tipo de muestreo de color u otro.

Como podemos ver, siempre se mide con 3 números, separando los espacios intermedios por dos puntos. **Y siempre se utiliza como medida 2 filas de 4 píxeles (8 píxeles en total)**, por lo que:

- El primer número, que siempre será 4, hace referencia al Y (Luminancia). Nos está diciendo cuántos píxeles se usan para medir el canal luma (la cantidad de luz) en cada línea de píxeles. Como ves, si el número es 4, significa que se miden 4 de cada 4 en ambas líneas de píxeles, es decir, se usan todos ellos.
- El segundo número nos dice cuántos píxeles se miden de los canales CbCr en la primera línea de 4 píxeles.
- El tercer número nos dice lo mismo que el segundo, pero en la segunda línea de píxeles.



Un videóto dice más que mil palabras:



De esta manera, se tenían 865 muestras de brillo, 432 muestras de azul y 432 muestras de rojo por línea. Como en el estándar PAL-N se tienen 625 líneas por imagen y 25 imágenes por segundo (fps) la cantidad de muestras totales que tendremos es la siguiente:

$$(865 + 432 + 432) \text{ muestras/línea} * 625 \text{ líneas/imagen} * 25 \text{ imágenes/seg} = 27.015.625 \text{ muestras/seg}$$

Al utilizar cuantificadores de 10 bits por muestra se tiene que la tasa de bit resultante es:

$$R_b = 27015625 \text{ muestras/seg.} * 10 \text{ bits/muestras} = 270.156.250 \text{ bits/seg.}$$

La tasa de bit es aproximadamente 270 Mbps. Este procedimiento, realizado sobre señales analógicas, generaba un flujo de audio y video de 270 Mbps, mucho mayor a los 6 Mhz requeridos para un canal de CATV analógico. Por lo tanto, a pesar de tener estudios totalmente digitalizados, con las ventajas del procesamiento de datos e imágenes que eso representaba, estas señales no podían ser transmitidas.

Para sortear este obstáculo fue necesario dos conceptos fundamentales:

- Desarrollo de técnicas de compresión de datos que permitieran reducir la tasa de transmisión.
- Desarrollo de técnicas de modulación adecuadas.

Respecto al primer punto, se logró mediante la implementación de sistemas de codificación basados en la transformada discreta del coseno (DCT) tanto en el dominio espacial como temporal. La codificación MPEG-2 pertenece al grupo de codificadores con estas características y permitió definir ciertos estándares para la TV digital ya sea satelital, terrestre o por cable con sus respectivos esquemas de modulación optimizados para cada medio de transmisión.

Sin embargo, este códec ha sido superado en cuanto a eficiencia y reducción de tasa necesaria para transmitir imágenes con calidad, por otro denominado H.264. Sin embargo, H.264 plantea solamente una técnica de codificación mientras que MPEG-2 plantea una técnica de codificación y de transporte de la información.



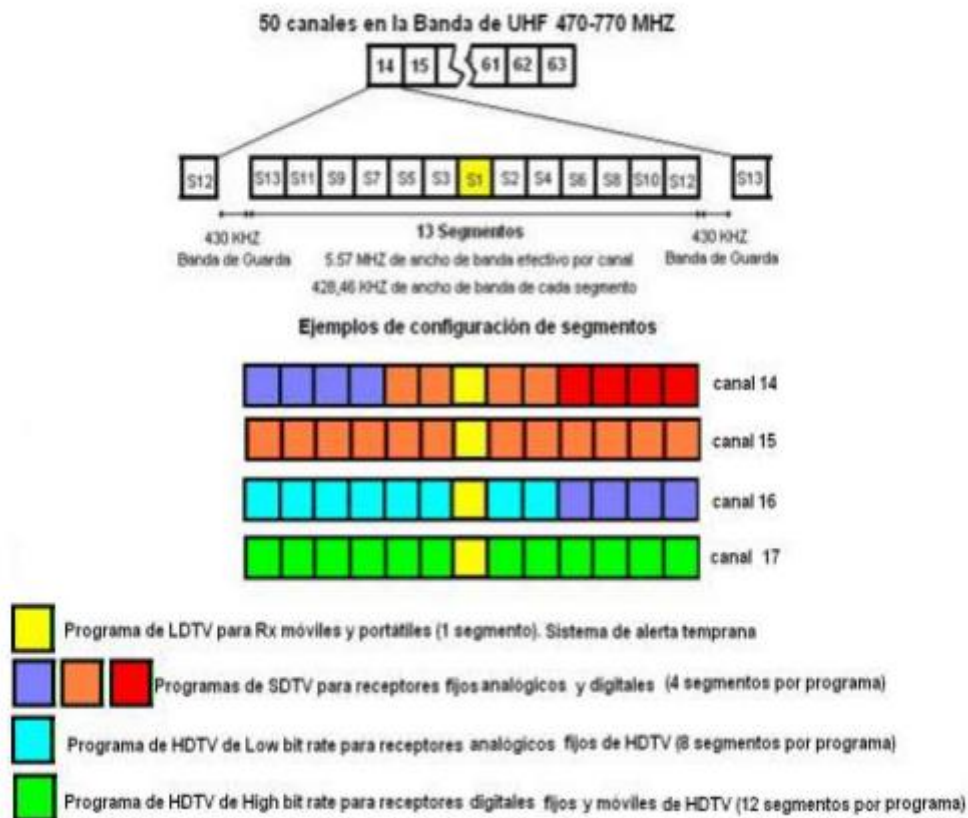
Para más data sobre codificadores mirar este video: <https://youtu.be/Kgb5FmeQgcs>.

Retomando conceptos de TV digital, MPEG-2 permitió la definición de varios estándares para TV digital terrestre (TDT), entre ellos:

- ➔ **ATSC** (*Advanced Television System Committee*) emplea modulación 8-VSB para TDT y para sistemas de TV digital por cable (TDC) propone utilizar 16 – VSB aunque se está utilizando actualmente 64 – QAM.
 - **ATSC – T** ➔ 8-VSB
 - **ATSC – C** ➔ 16-VSB , se utiliza 64 QAM.
- ➔ **DVB** (*Digital Video Broadcast*) emplea COFDM (*Codec Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) para televisión digital terrestre (TDT) ¿Por qué? permite que todos los multicaminos en un enlace inalámbrico contribuyan de manera positiva a la señal de camino directo, además permite simplificar el proceso de ecualización de cada portadora ya que cumple con el ancho de banda de coherencia. Para televisión digital por cable (TDC) se plantean algunos esquemas más simples de modulación, QAM de portadora única en sus diferentes variantes 64-QAM y 256-QAM, también utilizadas para televisión digital satelital (TDS).
 - **DVB – T** ➔ COFDM
 - **DVB – C** ➔ 64 - QAM , 256 - QAM
 - **DVB – S** ➔ 64-QAM , 256-QAM

Los estándares DVB-T y ATSC, adoptaron la compresión de video y el multiplexado de las señales del estándar MPEG-2. Posteriormente aparecieron DVBS2 y DVB-T2, que emplean la compresión H.264 que es más eficiente que la MPEG-2, pero utilizan MPEG 2 para la capa de transporte.

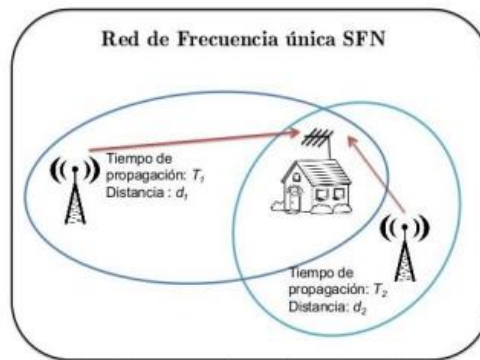
- ➔ DTMB utilizado por china solamente. Nada más que decir.
 - ➔ **ISDB** (*Integrated Services Digital Broadcasting*) es un estándar de TV digital desarrollado por japon que plantea utilizar BST-OFDM para televisión digital terrestre (TDT). ¿Qué significa que utiliza BST-OFDM? Que tiene la capacidad de segmentar el ancho de banda a utilizar para conformar lo que se denominan “segmentos”. En cada segmento, se puede aplicar diferentes técnicas de codificación y modulación basadas en OFDM. En particular, el ancho de banda de 6 MHz correspondientes a un canal analógico, se divide en 13 segmentos, donde se aplica en cada uno técnicas de modulación COFDM como en DVB.
- Esto lleva a la idea de transmisiones jerárquicas. ISB-T utiliza transmisiones jerárquicas, donde los parámetros de transmisión incluyen el esquema de modulación de las portadoras OFDM, la razón de codificación del código interno y la duración intercalada del tiempo, la cual puede ser especificada para cada segmento de datos OFDM. ISDB-T define el máximo de tres capas o tres grupos de segmentos diferentes conocidos como capa A, B y C, para transmitir en el mismo canal al mismo tiempo.



El estándar ISDB-T está siendo adoptado por la mayoría de los países sudamericanos de los cuales Brasil fue el primero en apoyar esta norma, incorporando entre otras mejoras la compresión H.264 (MPEG-4 parte 10) permitiendo de esta manera transportar mayor cantidad de programas o prestaciones sobre un canal analógico. Es decir, le dimos mucha bola a la explicación de la norma ISDB-T porque la adoptó Brasil, le hizo modificaciones junto con Japón y posteriormente nosotros (Argentina) adoptamos la norma brasilera.

Evidentemente podemos encontrar ventajas en estas tecnologías. Para hacerlo sencillo resumamos las ventajas de TV digital. Podemos transmitir mayor cantidad de canales de calidad estándar (SD) en un mismo ancho de banda de 6MHz ó transmitir un canal de alta calidad (HD). Además, es posible mantener el concepto de calidad, ya que al trabajar con sistemas digitales logramos eliminar todo el ruido presente en la señal recibida al tomar buenas decisiones en el demodulador. En este caso, no hablamos de So/No-Si/Ni como en los demoduladores analógicos, hablamos de BER (*Probabilidad de error de bit*).

Por otro lado, los estándares como DVB-T y ISDB-T al utilizar COFDM permiten desarrollar redes de frecuencia única (SFN). Al transmitir todas las estaciones el mismo paquete de información, por la técnica de modulación empleada, se aprovechan los diversos multicaminos.



Al utilizar técnicas de compresión como MPEG-2 y técnicas de modulación QPSK de portadora única, se ha logrado transmitir varios canales de televisión por un mismo transponder satelital. Hoy en día se está utilizando mayoritariamente el estándar DVB-S para realizar dichas tareas.

Por último, esta tecnología permite aumentar la interactividad con el usuario, ya que se proporcionan funcionalidades extras en relación a la TV analógica. En la TV digital, la grilla de canales viene integrada en el propio servicio, no necesitamos un folletito todos los meses con la programación como teníamos en la década de 2000. Además, ahora se pueden grabar y almacenar el contenido dentro del equipo receptor del abonado, denominado "set top box", para visualizarlo posteriormente. ¿Cómo es esto posible? Al trabajar con información digital es fácil almacenar y distribuirla. ¿Te imaginabas estas prestaciones en TV analógica utilizando equipos basados en tubos de rayos catódicos? ¿Te imaginas estas prestaciones sin la posibilidad de aplicar compresión de datos? ¿Cuánto almacenamiento necesitarías para guardar 2 o 3 programas de media hora? Cuestión, la digitalización de la información y su posterior procesamiento para comprimirla, así como también, el desarrollo de técnicas óptimas para transmitir hizo posible la existencia de la TV Digital.

Vemos que existen muchos estándares para los diferentes medios de transmisión. ¿Qué ocurrió con nuestro país? Ante la falta inmediata de normativa para canales de TV abierta digitales y sistemas codificados de UHF y VHF, que propusiera la utilización de alguno de los estándares que estaban presentes, la TV digital terrestre en Argentina comenzó el proceso de transición a la digitalización con el estándar DVB, ya que, a inicios de la década del 2000, no se había definido una norma reglamentada y DVB-T era el estándar que más se estaba utilizando a nivel mundial. Es el famoso, "¿Qué hacemos? Si no hay regulaciones, utilicemos lo que está usando todo el mundo".

Es por ello que los propietarios de licencias de UHF y VHF comenzaron a digitalizar sus sistemas con la finalidad de hacer un uso más eficiente del espectro y mejorar la calidad de las imágenes a sus abonados sin hacer grandes inversiones, debido a que toda la cadena de transmisión analógica no sufría ningún tipo de cambio, solamente se debía incorporar el equipamiento necesario para la digitalización de las señales analógicas (encoders, multiplexores y moduladores digitales) permitiéndoles de esa manera incorporar entre 6 y 8 señales digitales dentro de un canal analógico de 6 Mhz.

Paralelamente a lo que estaba ocurriendo en nuestro país, Brasil estaba haciendo otra cosa. Estaba adoptando la norma ISDB-T y realizando modificaciones (por ejemplo, cambiando la codificación de contenido de MPEG-2 a H.264) para patentar el estándar bajo el nombre ISDB-Tb.

En Argentina a pesar de estar realizándose una migración de TV analógica a TV Digital mediante la implementación del estándar DVB-T, se decidió por adoptar la norma ISDB-Tb y crear “El sistema argentino de televisión digital terrestre” (SATVD- T) en 2009. Imagínate los que arrancaron la migración con el estándar DVB-T. Hasta las manos, los querían moler a piñas a los del gobierno. Dejando de lado la bronca, se propuso un plazo de 10 años para que todo el mundo realizara una migración de la televisión analógica a digital. Constituyendo el famoso “apagón de la TV analógica”.

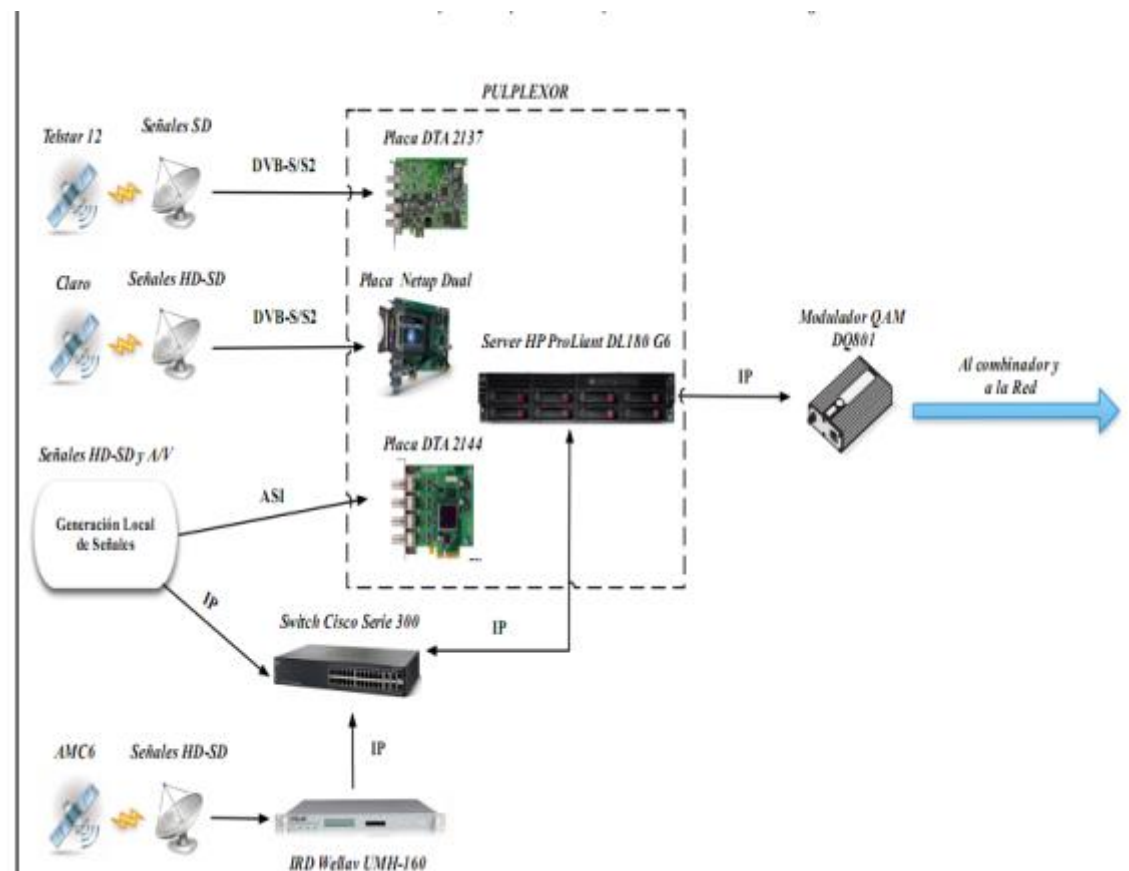
Actualmente en nuestro país se usa:

- Terrestre (aire) → SATVD-T
- Satelital → DVB-S, DVB-S2
- Cable → DVB-C, ATSC.

Todo muy bonito ... ¿Qué equipo necesitamos en cabecera y en plantel exterior para poder transmitir TV digital? La estructura en cabecera cuenta básicamente de 3 etapas, **recepción de las señales (satélite, fibra óptica, IP)**, una etapa intermedia que cuenta con una **unidad Pulplexor (símil PC industrial)** y una etapa final de **modulación, combinación y distribución a la red**.

Equipamiento en cabecera:

- ➔ Equipos de recepción (Satelital, fibra óptica, IP)
- ➔ Unidad Pulplexor
- ➔ Modulación, combinación y distribución de señales.

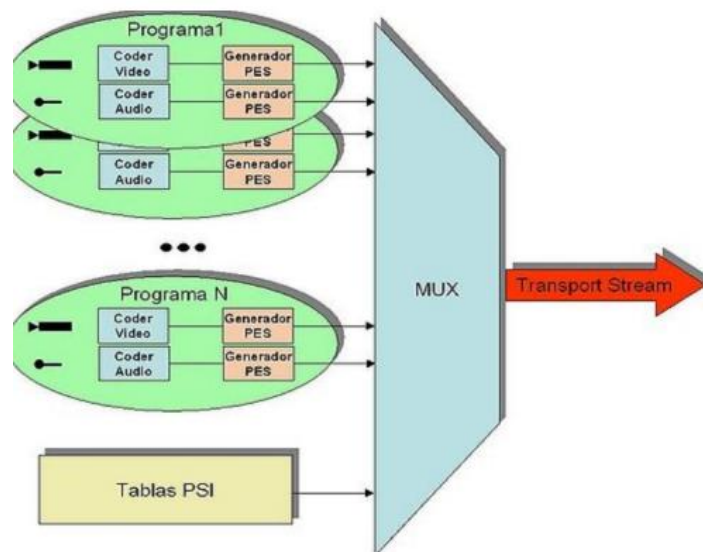


El equipo clave en cabecera es el **pulplexor**. Este dispositivo tiene la capacidad de soportar múltiples entradas de diferentes medios y las adapta para trabajar mediante un flujo de información con formato IP. El equipo además de soporta múltiples tipos de entradas (DVB-S/S2, ASI e IP), permite la generación e inserción de tablas PSI/SI, encriptación para las señales insertadas localmente (unicrypter), remultiplexado de EIT (Tabla de información de Eventos) para el EPG (Guía de Programación Electrónica), multiplexado de servicios con una gran flexibilidad de configuración de parámetros y la salida en IP que permite utilizarlo en una red de cable con un modulador QAM en IP (DirectQAM), o para enviar TS sobre IP a través de un DSLAM.

Suena un bardo, pero todo se reduce a que básicamente el pulplexor es un equipo que recibe múltiple información en formato MPEG-2 a nivel de bits, por distintos medios, donde cada uno de ellos puede utilizar o no el mismo estándar (dependerán del medio de transmisión ASI, IP, DVB-S2, SATVD-T), la interpreta, arma una grilla de programación y remultiplexa toda la información junto con la grilla, nuevamente en MPEG-2 a nivel de bit, pero en formato IP para transmitirla por la red de CATV y que el usuario con su STB (set top box) pueda recibir toda la información.

Cada señal recibida por el pulplexor a nivel de bit es un **flujo de transporte** (TS). Este concepto viene de la capa de transporte proporcionada por MPEG-2. ¿Cómo llegamos a confeccionar un flujo de transporte y que contiene?

En un principio, tenemos un *flujo de datos digitales comprimidos* que de acuerdo a la descripción dada por la norma (MPEG-2 ó H.264) al cual lo llamaremos **corriente elemental** (ES = elementary stream). Existe un elementary stream para cada tipo de datos: audio, vídeo y datos adicionales. A continuación, cada corriente de datos se va encapsulando en paquetes de bytes, dando lugar a los PES (Packetized Elementary Streams; **corrientes elementales por paquetes**). Por último, cada una de las corrientes elementales paquetizadas se unen en una única secuencia de paquetes, utilizando la técnica de la multiplexación. Esta secuencia de paquetes de audio, vídeo y datos es el MPEG-2 Transport Stream (trama de transporte en castellano, para simplificar le llamaremos TS a partir de ahora).



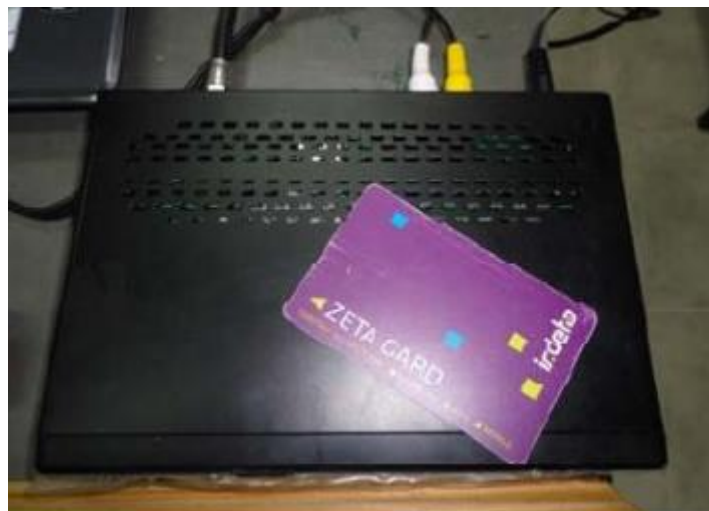
La complejidad de este tipo de transmisión, que puede incluir varios servicios con diferentes tiempos de sincronización, datos para la posterior identificación y corrección de errores, etc. obliga a incluir información adicional a la propia carga útil. Por ello se introducen en el TS

paquetes con tablas de información, las tablas PSI (Program Specific Information) y las tablas SI (Service Information).

De esta manera, se tiene un único flujo de bit con información de múltiples programas diferentes, listo para ser transmitido utilizando cualquiera de los estándares de TV digital. DVB-S2, ISDB-Tb y demás.

Estos TS pueden ser re-multiplexados en la unidad Pulplexor. Para ello es necesario el conocimiento de la “Información Específica del Programa” (PSI) que está vinculada al proceso de transporte MPEG-2, y la “Información de Servicio” (SI) vinculada al estándar DVB o también llamada DVB-SI. El Pulplexor “re-arma” los TS a través de las tablas PSI generando nuevas tablas denominadas SI y a partir de estas se obtiene la información correspondiente para la EPG (Guía de Programación Electrónica) en el set top box del usuario.

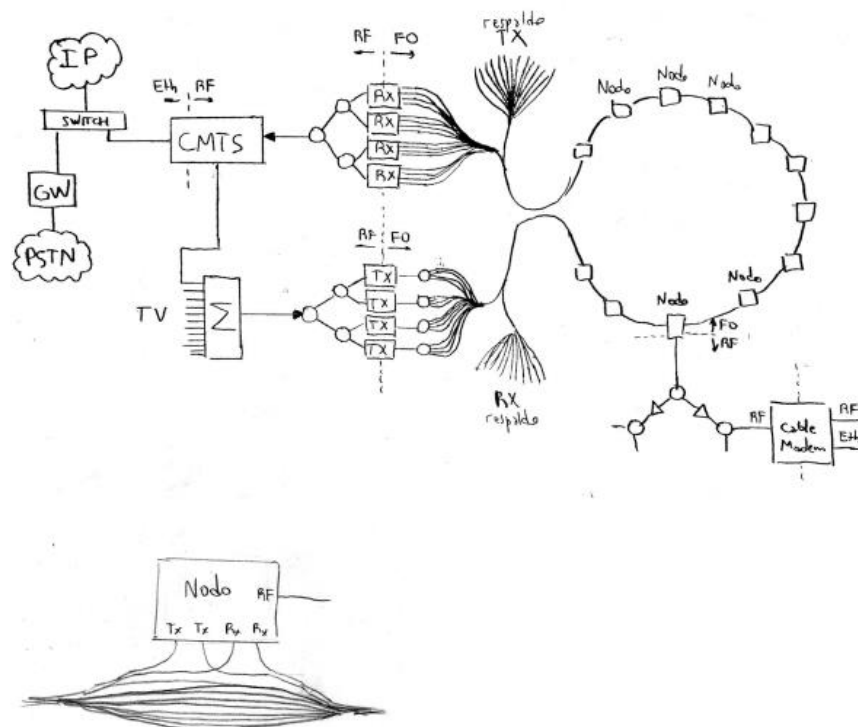
El abonado, como se comentó anteriormente, recibe un equipo especial denominado set top box. Este equipo además de realizar tareas de demodulación de señales digitales, se encarga de interpretar las tramas “TS” enviadas por el pulplexor y mediante la información “SI” integrada en la trama, construir una grilla de programación. El dispositivo tiene la capacidad de grabar diferentes programas en una unidad de memoria incluida y además permitir facilidades para descryptación de contenido previamente abonado.



¿En plantel exterior deberíamos hacer algún cambio? Podemos utilizar ambas topologías de red, cable coaxial y HFC (Híbrido de coaxial y fibra óptica). En el caso de mantener el plantel exterior solamente con cable coaxial deberá pensarse en el calibre de los cables y la calidad de los mismos. Verificar que la red en general soporte la utilización de frecuencias más altas, que los amplificadores estén muy bien calibrados y generen la menor intermodulación posible. Recordemos que en nuestro país se está utilizando DVB-C que utiliza modulación digital single carrier 64 QAM para este tipo de redes.

En caso de optar por una red del tipo HFC, La red troncal suele presentar una estructura en forma de anillos redundantes de fibra óptica que une a un conjunto de nodos. En éstos nodos las señales ópticas se convierten a señales eléctricas y se distribuyen a los hogares de los abonados a través de una estructura tipo bus de coaxial, la red de distribución. Cada nodo sirve a unos pocos hogares lo cual permite emplear cascadas de 2 ó 3 amplificadores de banda ancha como máximo. Con esto se consiguen muy buenos niveles de ruido y distorsión en las señales desde la cabecera al abonado. La red de acometida está compuesta por el último tramo del

En la siguiente imagen observamos una red CATV/HFC que tiene un troncal de fibra en modo anillo para proporcionar redundancia a todos los equipos receptores ópticos que hacen de nexo entre la red troncal y la red de distribución de coaxil. Para que funcione dicho sistema es necesario contar con equipamiento adicional en cabecera, se necesitan transmisores electro – ópticos y al finalizar la red troncal se necesitan otros conversores, pero ahora ópticos-eléctricos.



Resumenazo: <https://slideplayer.es/slide/13456206/>

CableModem

Preguntas...

¿Qué es cablemodem? ¿Qué servicio aporta a las redes CATV?

¿Existe un estándar para este tipo de servicio? ¿Qué plantea?

¿Cómo funciona la comunicación entre cabecera y abonado? ¿Cómo funciona la comunicación entre abonado y cabecera?

¿Qué equipos se requieren tanto para cabecera como para el usuario?

Respuestas...

Si uno se pone muy técnico con las nomenclaturas, cuando se hace referencia a cable-modem, se está mencionando uno de los equipos que forma parte del sistema que permite proporcionar servicio de internet sobre redes CATV, ya sea de cable coaxial o HFC (híbrido entre fibra óptica y cable coaxial). Cable-modem es la denominación técnica que se le da al equipo presente en la casa del abonado que le permite conectar diversos dispositivos (PC, celulares y otros equipos) a la red CATV para proporcionarles acceso a internet. ¿Cómo es posible? Sabemos que las redes de CATV proporcionan servicio de televisión mediante una red con topología tipo árbol, donde el contenido parte de cabecera y llega hasta las diferentes “hojas” que son los abonados. Es decir que se trata de un **medio compartido**, donde a cada usuario de la red, le llega todo el contenido televisivo. Sin embargo, en anchos de banda de 6MHz, donde se transmite desde cabecera hasta el usuario información correspondiente a un canal televisivo, ahora pueden transmitirse datos. Por lo tanto, en un sistema de CATV que proporciona servicio de televisión y acceso a internet tendremos canales donde habrá contenido televisivo y canales donde se transmitirán datos bajo alguna técnica de modulación digital desde cabecera hacia el usuario utilizando el formato MPEG para la información digital. Este enlace se denomina downlink. Estos datos, si bien son para un único dispositivo de red con determinada dirección IP, les llegará a todos los usuarios, porque recordamos nuevamente, es un medio compartido. Por lo tanto, todos los cable-modems en el enlace de bajada (downlink – datos desde cabecera hacia el abonado), deberán verificar si los datos recibidos son para ellos. En el caso de que sea así, el cable-modem entregará la información a los dispositivos de red que la hayan requerido y si no es así, la información es descartada. Sin embargo, a pesar de funcionar conceptualmente, este esquema tiene graves problemas de seguridad, ya que utilizando un cable-modem con un hardware trucado, podría sniffearse la red. Por esta razón, los sistemas de CATV proporcionan mecanismos a nivel de capa de enlace (capa 2) que permiten otorgar seguridad y privacidad sobre los datos.

Pero... ¿Quién gestiona los datos que provienen de internet en formato Ethernet y los convierte a datos en formato MPEG y los modula digitalmente dentro de los diferentes canales de 6 MHz? El equipo que realiza esta función y que también se encarga de autenticar cada cable-modem, como así también proporcionar mecanismos que permitan a los usuarios terminales generar enlaces de subida se denomina CMTS (Cable Modem Termination System) Sistema de Terminación de Cablemódems. Este dispositivo se encuentra en cabecera y gestiona todo el sistema de acceso a internet. El CMTS tiene puertos que se utilizan como **enlace de bajada**, es decir, para transmitir datos desde internet hacia el abonado (MPEG), utilizando esquemas de

modulación digital N- QAM en un ancho de banda de 6 MHz lo que le permite transferir entre 30 y 40 Mbps y puertos que se utilizan como **enlace de subida**, es decir, para transmitir datos desde el usuario a internet (Ethernet) utilizando esquemas de modulación digital QPSK ó 64-QAM en un ancho de banda de 2 MHz, logrando velocidades entre 320 Kbps y 10 Mbps.

- Enlace de bajada:
 - Acepta direccionamiento unicast, multicast y broadcast a nivel de red (IP - capa 3). Sin embargo, como es medio compartido, todos los paquetes les llegan a todos.
 - Esquemas de modulación N- QAM
 - 64-QAM (6 bits/símbolo)
 - 256-QAM (8 bits/símbolo) *Más vulnerable al ruido*
 - 6 MHz de ancho de banda utilizado por canal downlink. (Los europeos tienen canales de TV analógica asignados con un ancho de banda de 8 MHz entonces cambia un poco el asunto)
 - 54 – 850 MHz es el rango de frecuencias donde se pueden asignar los canales de downlink. Si recordamos las asignaciones en frecuencia de CATV, era posible utilizar una región espectral que comprendía desde 54 a 606 MHz ignorando frecuencias superiores como consecuencia de las atenuaciones de los cables. En Frecuencias desde 606 a 890 MHz era imposible transmitir señales RF que lleguen con buena calidad en el receptor, además que los amplificadores se vuelven más costosos por tener que trabajar en regiones espectrales más amplias. Cuestión, era complicado. En el mundo digital es posible porque se aplica codificación junto con técnicas de interleaving para compensar los errores introducidos por el canal de comunicación. De esta manera tiene lógica pensar en un rango de frecuencias posible desde los 54 a 850 MHz.
 - Velocidades de descarga que van desde los 27Mbps hasta los 56 Mbps.
 - Interleaving (largo variable para aplicaciones sensibles al retardo) y codificación (concatenación de Reed-Solomon y Trellis)
 - Formato de transporte MPEG mediante tramas TS (*Transport Stream*).

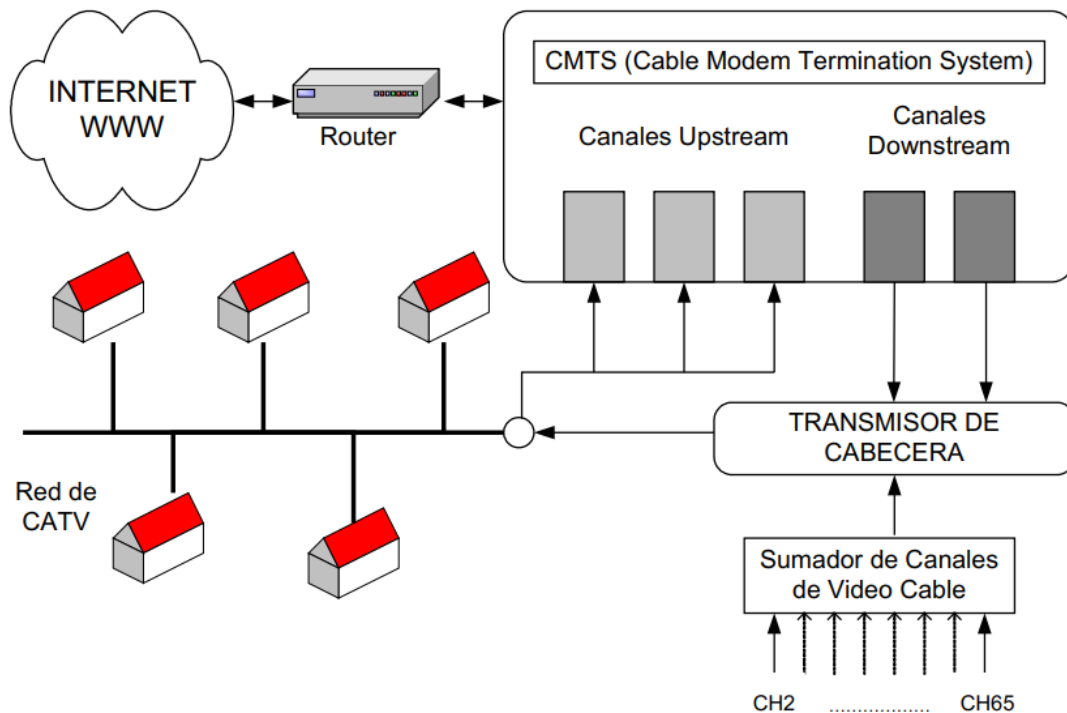
- Enlace de subida:
 - Esquemas de modulación:
 - QPSK (2 bits/ símbolo)
 - 64 –QAM (6 bits/símbolo)

¿Por qué no se podría utilizar 256 - QAM? Básicamente porque el cable modem no tiene las capacidades de transmitir con tanta potencia hacia el CMTS. En esta situación no puede utilizar sistemas de modulación digital con grandes constelaciones.

- 2 MHz de ancho de banda para un canal de upstream. Por lo tanto, en un canal de TV analógica (6 MHz) entran 3 canales de upstream.
- 5 – 42 MHz es el rango de frecuencias utilizadas para asignación de canales de upstream. Es decir, se utiliza la vía de retorno. Tiene sentido porque la red está equipada con diplexores que separan las bandas de frecuencias asignadas para vía directa y vía de retorno, permitiendo a las bandas de frecuencia asociadas a este último grupo llegar a cabecera.

- Velocidad de datos desde 320 Kbps hasta 10 Mbps.
- Programación flexible del cable-modem desde cabecera.
- TDMA de asignación dinámica como método de acceso para los canales de upstream. A continuación, se presentan los diferentes tipos de Time Slot (**"ranging", acceso, reserva**) que están presentes en este esquema de acceso múltiple:
 - **Time slots de "ranging"** para operaciones de temporización y ajuste de nivel de potencia, que permiten en otras capas compensar las pérdidas del cable y el retardo como resultado de la distancia. Normalmente hay 3 time slots de ranging y el cable-modem trata de transmitir en el time slot intermedio, si falla, está un time slot de resguardo atrás y adelante para evitar colisionar con time slots de otro tipo. De esta manera ajustan los cable-modem las temporizaciones, para compensar las diferentes distancias a las que se encuentran cada uno del CMTS. También el nivel de señal con el que llega a la cabecera la señal del cable-modem es sentido y regulado por el CMTS a través de los time slots de ranging.
 - **Times slots con acceso por contención** a los cuales todos los cable-modems pueden acceder, quien accede puede pedir un time slot reservado. Básicamente, este time slot es una ventana temporal donde todos los cable-modem hacen requerimientos de servicio si lo necesitan, es decir, solicitan la asignación de un time slot reservado. Si se producen colisiones entre paquetes de diferentes cable-modem, intentan nuevamente.
 - **Time slots reservados** administrados por un algoritmo del CMTS, que permite a un solo cable-modem tener acceso a dicho time slot.
- Se utiliza codificación de reed-solomon.

Es necesario para el acceso a internet contar con ambos enlaces, ya que no es posible obtener información si primero no hay un requerimiento por parte de los usuarios. Ahora... Pregunta del millón. ¿Cómo logramos realizar solicitudes hacia internet en este sistema si dijimos que era un medio compartido? ¿Tenemos una región espectral dedicada para un cable-modem (canal de 2 MHz) ? **No**. Tenemos varios canales de 2 MHz definidos como subida, pero compartidos. Por lo tanto, para evitar colisiones y para lograr que el sistema funcione (CMTS logre interpretar los requerimientos de cada cable-modem), necesitamos aplicar un método de acceso en la subida de datos. Particularmente, se aplica TDMA (Acceso múltiple por división de tiempo) donde los diferentes Cable-modems podrán adquirir por solicitud una fracción de tiempo del sistema (Time Slot), para utilizar todo el ancho de banda de 2 MHz de un canal de subida y transmitir datos durante el tiempo asignado. A lo que vamos, es que no es TDMA de asignación fija, es de asignación dinámica, para que el throughput se mantenga en niveles razonables (Velocidad percibida por el usuario como consecuencia de un método de acceso). Además, se plantean mecanismos para que los cable-modem determinen los retardos de propagación que tienen al CMTS, ya que no todos están a la misma distancia y también los niveles de potencia que tienen que transmitir, de esta forma, los niveles percibidos en el CMTS a pesar de las distintas distancias de cada uno, son iguales. La diferencia de distancia entre los cable-modem y cabecera también genera diferencias en los retardos de propagación, lo cual no es para nada favorable en un sistema de acceso múltiple por división de tiempo, donde el CMTS está esperando datos de un cable-modem en ventanas temporales específicas, gestionadas por él.

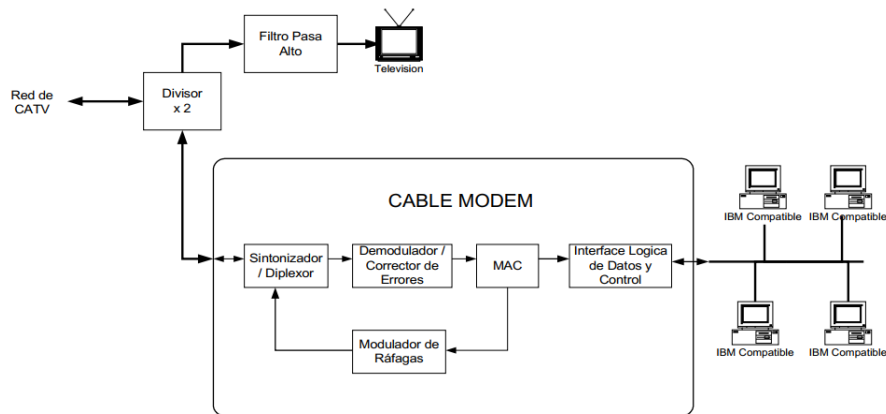


Un CMTS normalmente puede gestionar de 1 a 2000 cable-modems accediendo simultáneamente en un solo canal de TV. De ser necesario soportar mayor cantidad de cable-modems, se le agregan más canales a la gestión del CMTS. Además, las velocidades de upstream y downstream pueden ser configuradas por el proveedor de Internet, de manera flexible en el cable-modem de acuerdo a las necesidades del usuario y al costo del servicio según el ancho de banda. Hay un video que muestra que cuando un cable-modem se enciende, además de autenticarse frente al CMTS y configurar todos los parámetros del sistema, pide la configuración de acceso al medio, allí es donde el CMTS le indica al cable-modem velocidades puede estar manejando tanto de subida como de bajada.



A medida que el número de usuarios se incrementa, el operador del cable puede añadir más canales de datos upstream y downstream, para satisfacer la demanda de ancho de banda adicional en la red de cable.

A continuación, se presenta un esquema general de un dispositivo cable-modem:



Como puede observarse, el cable coaxial ingresa al equipo y atraviesa una etapa “*sintonizador/diplexor*”. ¿Qué significa esto? Que es una etapa que permite sobre un mismo cable coaxial efectuar tareas de recepción y transmisión, utilizando obviamente diferentes bandas en frecuencia para cada una. La etapa de recepción siempre está funcionando, en todo momento se están aplicando los bloques correspondientes a “*demodulador y corrector de errores*”, para que dicho flujo de bits sea entregado al bloque de control “*MAC*” y él determine si los datos adquiridos en enlace downlink pertenecen a alguno de los equipos de red conectados a él. El bloque MAC también adquiere del bloque “*Interface lógica de datos y control*” toda aquella información que necesita ser transmitida. Entonces inicia un proceso de gestión para acceder al medio. Realiza tareas asociadas a ranging, solicita acceso al CMTS y luego en los tiempos asignados utiliza el “*modulador de ráfagas*”. De la misma manera, el bloque MAC entrega información a “*Interface lógica de datos y control*” que necesita ingresar a la red LAN.

No es detalle menor que uno de los bloques más importantes es la capa MAC, ya que realiza funciones de temporizado y sincronizado, asignación de ancho de banda bajo control del CMTS, detección de errores, manejo y recupero de errores, y procedimientos para registrar nuevos cable-modems.

Todo muy lindo, pero esta tecnología (servicio de internet sobre redes de cable coaxial) en un principio era complicada de implementar, **ya que no existía un estándar para la construcción del CMTS y los diferentes cable-modems**. De esta forma, era imposible combinar equipos de diferentes marcas, funcionaban distinto, lo que no permitía la interoperabilidad entre fabricantes. Básicamente, comprabas todos los equipos de un fabricante u de otro, quedabas totalmente atado a uno en particular. Esta situación, dejó de ser una complicación con el surgimiento del estándar **DOCSIS**.

El estándar DOCSIS plantea los protocolos y tecnologías que deben soportar el hardware desarrollado por los fabricantes. De esta manera, se aseguran que, si bien los equipos son diferentes y pueden tener prestaciones distintas, en sus bases, todos aceptan las mismas tecnologías, permitiendo la *interoperabilidad*.

OSI		DOCSIS	
Capas Superiores		Aplicaciones	Mensajes de Control de DOCSIS
Capa de Transporte		TCP/UDP	
Capa de Red		IP	
Capa de Enlace de Datos		IEEE 802.2	
Capa Física		Upstream	Downstream
		TDMA (mini-slots) 5 - 42(65) MHz QPSK/64-QAM	TDM (MPEG) 42(65) - 850 MHz 64/256-QAM ITU-T J.83 Anexo B(A)

Recordemos que, para permitir comunicación entre dos equipos de red, hay que plantear tecnologías y protocolos en todos los niveles del modelo OSI.

Hay diferentes versiones de DOCSIS, en ellas se modifican las velocidades soportadas tanto para downstream como para upstream, así como también los canales utilizados para transferencia de datos. En la versión 3.0, se plantea una técnica de *agrupamiento de canales* (channel bonding) que permite incrementar muchísimo las velocidades. Sin embargo, no debemos olvidar que es un medio compartido y los usuarios comparten ancho de banda.

Versiones DOCSIS:

- Versión 1:
 - Downlink
 - Throughput → 42,88 Mbits
 - Cantidad de canales → 1
 - Uplink
 - Throughput → 10,24 Mbits
 - Cantidad de canales → 1
- Versión 2:
 - Downlink
 - Throughput → 42,88 Mbits
 - Cantidad de canales → 1
 - Uplink
 - Throughput → 30,72 Mbits
 - Cantidad de canales → 1

DIFERENCIA SUSTANCIAL ENTRE VERSION 2 Y VERSION 1 ES BASICAMENTE MEJORAS EN EL THROUGHPUT DEL UPLINK.

- versión 3:
 - Downlink
 - Throughput : 42,88 Mbits x **m**
 - Cantidad de canales mínima que trae el CMTS : 4
 - Cantidad de canales máximos que puede configurar el CMTS : No hay un máximo.
 - Cantidad de canales que pueden ser utilizados : **m**
 - Uplink
 - Throughput : 30,72 Mbits x **n**
 - Cantidad de canales mínima que trae el CMTS : 4
 - Cantidad de canales máximos que puede configurar el CMTS : No hay un máximo.
 - Cantidad de canales que pueden ser utilizados : **n**

DIFERENCIA SUSTANCIAL ENTRE VERSION 2 y VERSION 3, SE PERMITEN AGRUPACION DE CANALES EN LA VERSION 3, LO QUE INCREMENTA POR “M” EL THROUGHPUT DE BAJADA Y POR “N” EL THROUGHPUT DE SUBIDA DE LA VERSION 2.