

**SISTEMAS DE CATV EN GUATEMALA  
CONSIDERACIONES PARA SU ADAPTACION A LOS  
ESTANDARES INTERNACIONALES DE TRANSMISION**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES**

**SISTEMAS DE CATV EN GUATEMALA  
CONSIDERACIONES PARA SU ADAPTACION A LOS  
ESTANDARES INTERNACIONALES DE TRANSMISION**

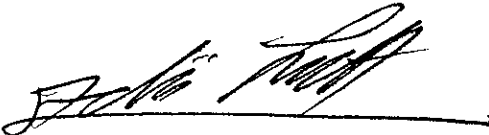
**MARVIN EMILIO PAR-GONZALEZ LOPEZ**

**Trabajo de investigación presentado para optar al grado académico  
de Licenciado en Ingeniería Electrónica**




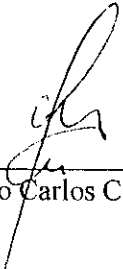
**GUATEMALA  
1995**


Vo. Bo. :

(f)   
Licenciado Adrian Licht Asesor

Tribunal:

(f)   
Ingeniero Roberto Tejada

(f)   
Ingeniero Carlos Chinchilla

(f)   
Licenciado Adrian Licht

Fecha de aprobación: 25 de octubre de 1995

## CONTENIDO

	<b>Páginas</b>
<b>PREFACIO</b> .....	XIII
<b>I. ANTECEDENTES</b> .....	1
<b>II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	7
<b>III. CONCEPTOS BASICOS DE TELEVISION</b> .....	11
A. Definición .....	11
B. Televisión Blanco y Negro .....	10
C. Televisión a Colores .....	15
D. Sistemas de Grabación.....	16
1. Grabación Compuesta .....	16
2. Grabación Por Componentes.....	16
3. Grabación Digital D1 .....	17
4. Grabación Digital D2 .....	17
E. Sistemas de Transmisión de Televisión.....	17
F. Transmisión Vía Satélite .....	19
G. Equipos de Recepción.....	25
H. Decodificadores.....	26
I. Moduladores .....	27
<b>IV. SISTEMAS CATV</b> .....	31
A. Definición .....	31
B. Cable Coaxial.....	31
1. Definición.....	31
2. Características .....	31
3. Impedancia .....	32

	<b>Páginas</b>
4. Atenuación .....	33
5. Temperatura .....	35
C. Transmisión .....	37
1. Decibel .....	37
2. Ruido .....	38
3. Intermodulación .....	41
4. Crosmodulación .....	42
5. Distorsion de Segundo Orden .....	42
6. Composite Triple Beat .....	43
<b>V. EQUIPOS DE AMPLIFICACION .....</b>	<b>45</b>
A. Definición .....	45
B. Ecuación .....	45
C. Amplificadores .....	46
1. Amplificador Troncal Básico .....	46
2. Amplificador Line Extender .....	52
3. Amplificador de Distribución Interna .....	52
<b>VI. DISEÑO DE SISTEMAS CATV .....</b>	<b>55</b>
A. Diseño de Lineas Troncales .....	55
B. Diseño de Lineas de Distribución .....	61
C. Consideraciones Técnicas necesarias para cumplir con el Mínimo de calidad (S/N) según la Taso en las redes de CATV existentes en Guatemala .....	64
D. Expansión del Ancho de Banda de redes de CATV en Guatemala .....	73

	<b>Páginas</b>
<b>VII. ADAPTACION DE REDES PARA SERVICIOS ADICIONALES EN GUATEMALA .....</b>	<b>77</b>
A. Transmisión Interactiva de Doble Vía ( <i>Two Way</i> ) .....	77
B. Transmisión de Video con Fibra Optica.....	80
<b>VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>81</b>
<b>IX. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>83</b>
 <b>APENDICES</b>	
A. Sistemas de Pago Por Video ( <i>Pay Per View</i> ) .....	85
B. Transmisión de Datos .....	89
C. Transmisiones de Video Adicionales .....	91
D. HDTV y Compresión Digital en Sistemas de CATV .....	95
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>99</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla</b>		<b>Página</b>
3.1	Satélites existentes con huella en Guatemala.....	22
4.1	Pérdidas en decibels por cada 100 metros de cable coaxial a 20°C .....	35
4.2	Pérdidas en decibels en 1 Kilómetro de cable 500 a distintas temperaturas.....	36
4.3	Calidad de señal dependiendo de la relación señal ruido existente .....	41
6.1	Distancia de diseño y distancia maxima entre Amplificadores troncales dependiendo de la frecuencia de Diseño .....	56
6.2	Valores típicos de Taps de 2 Salidas y su pérdida por inserción en decibels .....	63
6.3	Tabla comparativa entre las características de un amplificador CA-30 y un amplificador Troncal .....	68
6.4	Tabla comparativa entre las características del Cable RG-6 y el Cable RG-500.....	69
6.5	Comparación entre Amplificadores Troncales y amplificadores CA-30 Considerando variaciones de Temperatura .....	69
6.6	Comparación de costos de mantenimiento para una red de CATV RG-6 versus RG-500 .....	72

## LISTA DE GRAFICAS

Gráfica	Página
4.1 Diagrama de una carga de 75 Ohms con una fuente generadora de ruido termal.....	40
5.1 Diagrama de un amplificador Push-pull.....	47
5.2 Diagrama de un amplificador Hibrido Paralelo .....	48
5.3 Diagrama de un amplificador Feedforward .....	49
5.4 Diagrama de un amplificador troncal.....	50
5.5 Diagrama esquemático de un amplificador troncal con vía de retorno (doble vía) ....	51
6.1 Curva de niveles para Amplificadores Troncales en las redes de CATV de Guatemala.....	66
7.1 Diagrama de Amplificadores en una red CATV. Comparación del número de amplificadores en cascada en vía directa versus vía de retorno.....	79

## PREFACIO

Este trabajo de graduación es una investigación sobre la televisión vía satélite y la distribución de señal a través de sistemas de televisión por cable en Guatemala. Como antecedentes, se describe el desarrollo de los sistemas de distribución de televisión por cable en Guatemala, principalmente en lo que respecta al desarrollo técnico. En el núcleo del trabajo, se describen los conceptos básicos de la televisión, los sistemas de grabación y los sistemas de transmisión. Luego se desarrollan los conceptos de la transmisión y recepción de televisión vía satélite, las bandas y frecuencias de transmisión y recepción utilizadas, funcionamiento, posición y características de los satélites. Los equipos y sistemas de recepción utilizados y sistemas de codificación utilizados en el mundo, con énfasis en los que se pueden utilizar en Guatemala.

Como segunda parte se desarrollan los sistemas de transmisión por cable, las características y funcionamiento del cable coaxial, así como de los equipos de transmisión y distribución de señal. El funcionamiento de las redes de cable en Guatemala, los equipos y cables utilizados. Luego se dan los conceptos para el diseño de redes, considerando los requerimientos técnicos para cumplir los estándares de transmisión de la FCC (*Federal Communications Commission*).

Con base en lo anterior, se dan las consideraciones técnicas para lograr que las redes existentes en Guatemala cumplan con los estándares internacionales de calidad de señal. También se proponen las especificaciones técnicas, para lograr la expansión del ancho de banda de las redes de cable en Guatemala. Y por último, su acoplamiento para poder brindar servicios adicionales, la implementación de la transmisión en doble vía, de manera que se puedan transmitir datos, interconectar computadoras y no simplemente transmitir señales de video.

Como última parte, se hacen algunas consideraciones para la incorporación de nuevas tecnologías, que actualmente están en desarrollo o ya existen en otros países, a los sistemas de transmisión de televisión por cable en Guatemala. Tecnologías tales como la interconexión de redes muy grandes a través de fibra óptica, los sistemas de pago por vídeo, la incorporación de la televisión de alta definición HDTV (*High definition television*) y la transmisión de vídeo utilizando compresión digital.

## I. ANTECEDENTES

La televisión por cable en Guatemala, tuvo su origen a principios de los años 80, cuando se empezó a masificar la venta de antenas parabólicas, para captación de señales de televisión vía satélite. En los inicios de la transmisión vía satélite, existían muchos canales abiertos. Esto significa que no estaban codificados, por ello con una antena parabólica y un receptor, se podía captar una gran variedad de señales. Algunos de los propietarios de antenas parabólicas, se dieron cuenta que con únicamente agregar un modulador al receptor, la señal que se recibía vía satélite, se podía transmitir en cualquier canal de VHF (2 - 13) que se deseara, y luego, a través de un cable coaxial de distribución (drop cable) tipo RG-6 o RG-59 se podía distribuir la señal a sus vecinos. Agregando receptores y moduladores se iban sumando canales a la señal que se distribuía. Bajo este concepto se formó la mayoría de empresas de televisión por cable.

Para mediados de los años 80, ya había en Guatemala, una gran cantidad de empresas de cable, las que en su mayoría contaban únicamente con una o dos antenas parabólicas, de las cuales tomaban canales no codificados y los transmitían en las frecuencias de VHF, o sea sistemas de 4 a 7 canales. La planta de transmisión básica de uno de estos sistemas, consistía en antenas parabólicas de 12 a 20 pies, con un alimentador dual (*Dual Feed*), dos amplificadores de bajo ruido LNA (*Low Noise Amplifier*), dos conversores de frecuencia (*Down Converter's*) y un receptor por cada canal. Además de un modulador por cada canal, los moduladores eran combinados todos, de manera tal que al final se tenía la señal en un solo cable. (*ver sección III.A.7 para una mayor información del funcionamiento de la recepción vía satélite*)

Teniendo la señal de 4 a 7 canales, esta se distribuía fácilmente a los vecinos, poniendo únicamente un amplificador en la planta de transmisión. El mismo podía aumentar la potencia hasta un nivel cercano a los 60 dB y con la pérdida que tienen las frecuencias de VHF, la señal se podía distribuir fácilmente con cable RG-6 o RG-59 a unas cuantas manzanas a la redonda. No existía ningún tipo de diseño. La expansión de redes se efectuaba por demanda. Conforme las

redes iban creciendo, lo que se hacía era agregar un amplificador más en el punto en donde la señal ya no tenía niveles adecuados.

De esta manera, las redes se iban expandiendo sin ninguna consideración técnica, más que aplicando el enunciado *amplificar cuando se considere que la señal no alcanza*. Además de esto no se tenía en consideración que el drop cable o cable de instalación como lo es el cable tipo RG-6 y el RG-59 no se debía utilizar como cable de línea. Para eso existen los cables troncales o de línea como el RG-440, RG-500, etc. La casi totalidad de empresas de cable, debido a esta manera de crecer, no consideraron nunca la posible expansión de canales a los niveles actuales (de 35 a 55 canales), ni tampoco consideraron nunca que las redes se iban a expandir a un punto tal que las cascadas de amplificadores iban a poder llegar a más de 10 kilómetros.

Conforme las empresas de cable fueron creciendo, se inició la competencia entre las mismas, con lo cual, empresas que abarcaban unas cuantas cuadras fueron creciendo y penetrando a otras áreas, en donde ya existían otras empresas. La competencia entre las mismas, hizo que aumentara el número de canales que transmitían para poder así brindar una mayor variedad al cliente. El aumento de canales transmitidos por las empresas de cable, fue acompañado por la codificación de muchos de los canales de satélite.

El aumento de canales hasta 22, no causó mucho problema, ya que en muchos casos los amplificadores utilizados permitían transmitir VHF y banda media. En los casos de amplificadores que no amplificaban banda media y solo VHF, la solución era simplemente cambiarlos, por amplificadores que sí lo hicieran. Existía aquí un factor que facilitaba esta expansión de canales y era el hecho de que la banda media (canales 14 a 22) se encuentra dentro de las frecuencias de VHF (121 MHz a 171 MHz). Pero lo más importante, las distancias entre amplificadores y los niveles de señal, y por consiguiente en buena parte la calidad de señal, no variaba.

El aumento de canales, constituía una inversión en amplificadores y principalmente en la planta de transmisión. Los costos de las plantas de transmisión al tener 22 canales se fueron haciendo altos, de manera tal, que empresas muy pequeñas optaron por comprar señal o unirse entre sí para diluir los costos de las plantas de transmisión.

Una empresa de 200 o 300 suscriptores a los que les cobraba Q15 a Q20 tenía un costo de inversión muy alto si pensaba aumentar 8 a 10 canales, pues en un promedio de \$1,000 por canal se daba una inversión de alrededor de \$10,000, lo cual significaba una inversión muy alta para una empresa pequeña. Así que básicamente, por razones comerciales, muchas empresas empezaron a unirse y compartir plantas. Este tipo de uniones, empezó a generar parte de los problemas técnicos que tienen en la actualidad muchas de las redes de cable existentes.

Los empresarios de cable en la mayoría de casos, no tenían preparación técnica, y eran principalmente empíricos, no consideraban que al aumentar la cantidad de amplificadores en cascada el ruido se iba multiplicando. Además, la estabilidad de la señal era menor, pues variaciones de temperatura en el cable al tener una línea muy larga, provocaban variaciones de señal de varios decibeles. Tampoco tomaban en cuenta que al usar cable de instalaciones (*drop cable*) como lo es el RG-59, RG-6 y RG-11 en lugar del cable troncal, se tenía poco blindaje, lo cual hacía a la señal más susceptible a las interferencias además de que el cable de distribución (*drop cable*) es mucho más sensible a cambios de temperatura, ello porque, no está hecho para usarse en tramos exageradamente largos, de manera que en líneas de RG-6 con más de 10 amplificadores en cascada, enfrentaban serios problemas de saturación en las noches o debilidad de señal al mediodía (*ver capítulo V para una mayor información del funcionamiento de las redes de cable*).

A finales de los años 80 y principios de los 90 las empresas de cable cubrían toda la ciudad de Guatemala y la mayoría de municipios del país. Las empresas de cable de la ciudad de Guatemala, estaban en muchas áreas compitiendo entre sí, lo cual significaba un desgaste financiero para las mismas, ya que el número de canales que ofrecían empezó a incrementarse a

un ritmo bastante acelerado. Conforme el número de canales iba en aumento, los problemas también se multiplicaban. Este aumento de canales llevó a empresas pequeñas que se iniciaron con solo canales de VHF y que no habían sido remodeladas, a aumentar la transmisión de canales de tal manera, que para finales de 1990 era muy común que este tipo de empresas tuvieran una planta de transmisión de 36 canales, aunque esto en ningún momento significaba que los clientes recibieran todos los canales.

Las redes, no estaban preparadas para manejar un ancho de banda tan grande. Como consecuencia, el suscriptor de cable obtenía una señal deficiente, principalmente en los últimos canales. Empezó a experimentar el empresario de cable, problemas en el mantenimiento de su red, provocados por el aumento de canales sin consideraciones de diseño.

El manejar un ancho de banda mayor, no solo hacía que los amplificadores tuvieran que trabajar con niveles menores para mantener la misma potencia promedio, sino también las pérdidas en el cable eran mayores. Por tanto las distancias para los amplificadores ya no eran las correctas. Esto obligaba a poner amplificadores intermedios o de mayor ganancia. Además, aunque la señal entre amplificadores fuera correcta, las líneas de distribuciones no llegaban a tener los niveles apropiados. El uso de cable de distribución en lugar de cable de troncal, no permitía estabilidad por temperatura y sumado a esto, se usaban amplificadores de distribución, los cuales por su nivel de ruido, no permiten colocar uno en cascada del otro y por supuesto no tienen ningún tipo de compensación termal.

Esta tendencia de aumento de canales, fue acompañada de una desaparición de plantas de transmisión, pues al tener más canales, lógicamente el costo de las mismas se incrementaba. Los empresarios de cable, buscando economizar recursos y a la vez aumentar canales, vieron como solución el unir equipo de varias plantas en una sola, para así poder transmitir mas canales. Al unirse cada vez más empresas a una sola planta, las redes de cable se ampliaron y por consiguiente las cascadas de amplificadores aumentaron.

Además de ello, en diciembre del año 92, fue emitida la ley de cable, la cual entraba en vigencia 6 meses después y obligaba a las empresas de cable a pagar derechos de transmisión. Esto último, provocó problemas más que todo de orden económico, ya que al obligar a las empresas de cable a eliminar los canales de películas y pagar derechos, provocó un aumento de cuotas, lo cual hizo que los márgenes de ganancia disminuyeran y por consiguiente el capital para remodelaciones de redes también.

La tecnología de codificación, fue mejorada de manera tal que los gastos en planta tuvieron que aumentarse, ya que al cambiar la tecnología original de codificación (videocipher II) a una nueva versión mejorada (videocipher II plus), esto significó aumento en el valor de cada canal. El surgimiento de la compresión digital, hizo surgir nuevas tecnologías de codificación, las cuales son más seguras pero a la vez más caras. Todo esto combinado hizo que las plantas de transmisión, que en un momento llegaron a ser casi 100 en la ciudad de Guatemala, disminuyeran de manera tal que a principios de 1995 no había ni 10 plantas y agregado a ello de 5 plantas importantes dependía el 80% de los suscriptores de cable. Las plantas contaban cada una con 40 a 62 canales.

Este aumento de canales tan grande y la cobertura de áreas enormes por las plantas de transmisión, hizo que las redes de cable en la actualidad, no estén preparadas para transmitir la cantidad de canales que se les están inyectando. Además, las cascadas de amplificadores están excedidas en muchos casos y en otros están sin contemplaciones de diseño y sin ningún requerimiento mínimo de calidad de señal, mucho menos preparadas para transmitir servicios adicionales como debería de estar preparado el cable.



## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El diseño de redes de cable casi no existió y no existe en la mayoría de redes de cable en la actualidad. Prácticamente todas las empresas construyeron sus redes de manera empírica, por lo cual la mayoría no cumple con ninguno de los estándares de transmisión.

Los empresarios de cable utilizaron el cable tipo drop (RG-59, RG-6, RG-11) para la construcción de líneas de distribución y en algunos casos, para la construcción hasta de líneas troncales (*ref. sec. IV.B*). Además de ello utilizaron amplificadores para casas como lo son los CA-30 y MCM-55, haciendo la función de amplificadores de distribución (line extender) y algunas veces hasta de amplificador troncal, por razones de costos. Costos mal entendidos ya que la vida útil de un CA-30 o MCM-55 es de 1/3 o hasta 1/10 de la vida útil de un amplificador de distribución (line extender) o amplificador troncal, máxime cuando se les coloca a la intemperie, pues no están preparados para ello.

Por lo anterior, las redes de cable en Guatemala, no tiene los estándares debidos de relación señal a ruido en las líneas principales. Mucho menos en las casas de los abonados, quienes están limitados a una sola vía y por consiguiente, no pueden obtener las ventajas a servicios adicionales que permite la transmisión en doble vía.

Conforme las empresas de cable fueron creciendo, se inició la competencia entre las mismas. Competencia que hizo que aumentara el número de canales que transmitían. El aumento de canales no se hizo acompañado de un rediseño de redes para adecuarlas al ancho de banda necesario para la transmisión de los mismos. La solución, fue simplemente cambiar los amplificadores por amplificadores de mayor ganancia o colocar amplificadores intermedios, de manera de poder así transmitir un ancho de banda mayor.

Esto causó problemas adicionales, ya que con el afán de lograr que las frecuencias altas no se perdieran a través de la cascada de amplificadores, estas se transmitían con niveles de 10, 12 o hasta 15 más altas que las frecuencias bajas, pues eran las que sufrían mayores pérdidas por estar los amplificadores a distancias no adecuadas o simplemente por no ser amplificadores adecuados para manejar dichas frecuencias.

Con lo anterior, se lograba que los canales altos se vieran aceptablemente en una mayor parte de la red. Sin darse cuenta de que las intermodulaciones generadas a través de cada amplificador, eran mayores, con lo cual las señales se deterioraban notablemente. Para poder manejar niveles tan altos sin que se saturaran los amplificadores, lo que se hacía era sacrificar a la banda baja o media, pues esta se hacía entrar a niveles menores de los nominales en cada amplificador, teniéndose por ello una degradación en su relación señal ruido.

A principios de los años 90's, el aumento de canales llevó a las empresas a la interconexión entre ellas mismas, para compartir costos de las plantas de transmisión, con lo cual las redes para interconexión entre empresas se volvieron redes con cascadas muy grandes, totalmente susceptibles a las variaciones por temperatura, con grandes problemas de intermodulación y con una relación señal ruido muy pobre en las líneas principales.

El problema de señal fuera de estándares en las líneas troncales, se volvía más crítico en las líneas de distribución, las cuales también eran construidas sin ningún tipo de diseño. Se observaba que algunos suscriptores, miraban con la mala calidad de la línea principal, pero otros todavía tenían degradaciones adicionales en su señal, terminando con relaciones señal ruido tan malas al punto de que en algunos canales se obtenía una S/N de cercana a los 0dB, lo que significa que la imagen era nula viéndose únicamente el ruido.

El problema de las redes de cable en Guatemala es fácilmente resoluble. Se construyen redes totalmente nuevas y se desechan las existentes. Pero ello solo desde el punto de vista técnico, ya que en muchas áreas, si no en la mayoría, la inversión sería tan grande que haría a la empresa no rentable y por lo tanto no competitiva. En el presente trabajo se muestran consideraciones que deben efectuarse para adecuar a las redes de cable existentes en la actualidad a los estándares de transmisión y dependiendo los cambios o modificaciones que se hagan poder brindar servicios adicionales.

Hay que considerar que no en todas las áreas de Guatemala se deben tener redes que brinden todos los servicios existentes. Es más hay servicios que en la actualidad no son económicamente viables para Guatemala, pero en cambio hay muchos otros que si lo son y para lo cual las redes de cable deben de estar preparadas para poder ofrecerlos.

Adicionalmente a la falta de diseño, al uso de cable y amplificadores no adecuados, en Guatemala no se tienen consideraciones técnicas en la construcción de las redes, por lo cual se hacen cortes adicionales a los necesarios en las líneas principales y no se evalúan costos tan simples como un amplificador CA-30 o MCM-55 cuesta lo mismo que un amplificador de distribución (*line extender*); con la diferencia que el amplificador de distribución (*line extender*) tiene una vida promedio mucho mayor (3 a 10 veces mayor). Tiene capacidad de doble vía, su figura de ruido es mejor o igual y por su diseño y construcción sí se puede colocar a la intemperie.



### III. CONCEPTOS BASICOS DE TELEVISION

#### A. Definición

La televisión es un sistema de captación y transmisión de imágenes por medio de ondas electromagnéticas, a través de conductores o del espacio libre.

Las imágenes captadas son convertidas en impulsos eléctricos, luego son transmitidas y finalmente son captadas por un receptor ("*televisor*") en el cual se observan las imágenes o acciones de manera tal que se observa un movimiento continuo. La transmisión de imágenes en movimiento, aprovecha la persistencia de las imágenes en la retina para lograr el efecto de movimiento continuo en la percepción final del espectador.

#### B. Televisión Blanco y Negro

En un sistema de televisión, los lentes de la cámara son los que perciben la escena a ser televisada. Ello se logra de la misma manera en que actúa el ojo humano, así como las ondas de luz convergen sobre la retina o la superficie sensitiva de luz en el fondo del ojo. Las cámaras hacen que las imágenes converjan sobre la superficie fotosensitiva del tubo en las cámaras antiguas, o en elementos electrónicos de captación de imágenes tales como los CCD en las cámaras modernas.

Para que una cámara pueda tomar una imagen se genera una corriente de barrido. Esto significa que un rayo de electrones similar al de un tubo de rayos catódicos es barrido a través de la imagen y es modulado por la carga que tiene la imagen en los distintos puntos. De similar manera, transistores generan una corriente de barrido a través del CCD recorriendo la pantalla.

Al final del tiempo requerido por el rayo para barrer exactamente una línea de toda la película, el pulso de control es recibido. Este pulso de sincronismo o enganche del circuito, es transmitido sobre la portadora de video y es el que sirve para que el receptor enganche el inicio del barrido. Simultáneamente, con este pulso de sincronismo es transmitido un pulso de "blanking", el cual sirve para eliminar el trazo de retorno, de manera que la línea de regreso se hace invisible al espectador. Esta acción se repite línea por línea hasta que el rayo de barrido llega hasta el final de la imagen. En este punto el rayo debe ser retornado al inicio de la pantalla para iniciar otra secuencia de barrido. Cuando el rayo de electrones debe ser regresado hacia arriba, un pulso de control vertical es recibido del generador de sincronismo y el rayo de barrido regresa al inicio de la pantalla.

El pulso de sincronismo vertical es transmitido, al igual que el pulso de sincronismo horizontal en la portadora de video para que de igual manera el receptor pueda enganchar en iniciar el barrido al mismo tiempo. Simultáneamente, un pulso de "blanking" es transmitido para causar un retraso de la línea y hacerla invisible al espectador. La diferencia entre un pulso horizontal y un pulso vertical, es la frecuencia. Los pulsos de blanking y sincronismo horizontales, están a una frecuencia de 15,750 por segundo y los pulsos verticales están a una frecuencia nominal de 60 por segundo según la norma NTSC.

La señal de televisión, cuando tiene únicamente el video y el blanking sin sincronismo, es llamada señal no compuesta, después de que el sincronismo es agregado la señal es denominada señal compuesta. El generador de sincronismo, controla cada acción eléctrica que toma parte en el proceso de barrido. La cámara envía pulsos de sincronismo, los cuales son transmitidos simultáneamente con la portadora de video para que el receptor identifique a través de estos pulsos el inicio del barrido y lo pueda reproducir de manera correcta.

Los electrones emitidos por el cañón de electrones, son concentrados en un rayo bien fino, por medio de una bobina que crea un campo magnético a través del cual cruzan los electrones y hace que los mismos se concentren en un rayo de diámetro constante. El rayo es barrido a través de la imagen objetivo en un intervalo de tiempo predefinido, el cual esta determinado y ajustado por el generador de sincronismo. Las bobinas de deflección horizontal y vertical hacen entonces que el rayo de electrones recorra línea por línea la imagen desde el extremo superior izquierdo hasta el extremo inferior derecho. La imagen siempre es recorrida de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

Para lograr el barrido horizontal y vertical sea de manera tal que el tiempo de barrido sea mayor que el tiempo de retorno, una onda diente de sierra es la que alimenta las bobinas de deflección horizontal y vertical, de manera que así, el tiempo de retorno, retraso o *fly-back* es muy rápido, comparado con el tiempo de barrido.

En los equipos modernos, el rayo es controlado por transistores, los cuales alimentados por una señal de voltaje en forma de diente de sierra hace que el recorrido del rayo sea de izquierda a derecha y el tiempo de regreso o retraso sea mucho menor. El tiempo de barrido está predefinido y controlado por el generador de sincronismo, el cual genera la onda de diente de sierra de manera tal que su frecuencia sea de 15,750 Hz, recorriéndose así cada línea en el mismo tiempo y al llegar al final de la línea, se insertan los pulsos de *sincronismo* y *blanking* en el tiempo de retraso, de manera que se mantiene el principio de hacer invisible al espectador la línea de retardo.

Los sistemas actuales standard, son de líneas impares. Esto significa que la cantidad de líneas que barren es en numero impar. La razón de ello, es que cuando la cantidad de líneas es impar, donde inicia el primer barrido de un cuadro, allí mismo termina el barrido de ese mismo cuadro, permitiendo empezar en el mismo punto el barrido del siguiente cuadro.

En el sistema de barrido entrelazado, el barrido se hace cruzando horizontalmente líneas alternativas durante un barrido vertical hacia abajo y luego se retorna hacia arriba y se barren las líneas faltantes durante el siguiente barrido vertical hacia abajo. Cada uno de estos procesos es llamado campo (*field*) y cada dos *fields* constituyen una imagen (*frame*). La razón para intercalar líneas, es que en este proceso se conserva el ancho de banda sin sacrificar la claridad o nitidez en la reproducción de la imagen.

Esto se torna mas claro, cuando se considera el fundamento del movimiento en las películas. Cuando los cuadros, son pasados uno sobre el otro en una sucesión rápida sobre una pantalla, la sensación de movimiento es transmitida. Este proceso depende de la habilidad del ojo para retener por una fracción de segundo la impresión visual de una imagen después de que el estímulo original es removido.

Este efecto es llamado persistencia de visión. En las películas inicialmente 24 frames de film eran pasados por la pantalla cada segundo, lo cual producía una cierta sensación de innaturalidad en el movimiento, "*flicker*". Cuando la cantidad de frames era duplicada, el "*flicker*" desaparecía.

El sistema NTSC que es el que se utiliza en Guatemala utiliza 30 "*frames*" por segundo lo que significa que los cuadros barridos son el doble, lo cual implica que la frecuencia de un cuadro es entonces de 60 por segundo, lo que lo hace fácilmente sincronizable con la frecuencia de las líneas de voltaje en Guatemala que es de 60 Hz.

El numero total de líneas que constituyen una imagen (*frame*) es 525, lo que significa que 262.5 líneas son barridas por cada cuadro o campo. Como hay 30 campos, el numero de líneas por segundo es de 525 por 30, lo que es igual a 15,750 líneas por segundo. Lo que lleva a los estándares de transmisión del NTSC:

Frecuencia de una **Línea** = 15,750 por segundo

Frecuencia de un **Campo** = 60 por segundo

Frecuencia de un **Frame** = 30 por segundo

### C. Televisión a Colores

Cuando la FCC aprobó la transmisión a colores, se fijaron tres prioridades: (A) las señales a color debían de ser compatibles con las señales monocromas. (B) los receptores monocromo deberían poder recibir las señales a color. (C) el ancho de banda debería de ser el mismo (6 Mhz).

El sistema de transmisión a colores tiene tres colores primarios: Rojo (R), Verde (G) y Azul (B), la adición de colores primarios da los siguientes colores: rojo + verde = amarillo, rojo + azul = violeta, azul + verde = Cyan. La suma de los tres colores primarios da el color blanco.

La luminancia o señal Y se fijo como estándar de transmisión 1 voltio. Una señal de luminancia  $Y = 1 V$  se obtiene sumando las siguientes proporciones de R, G y B:

$$0.3 R + 0.59G + 0.11 B = 1 Y \quad (\text{Ec. III.1})$$

Esta división de energía para lograr el blanco o luminancia estándar, se hace basado en la división de energía de las señales, dependiendo de la longitud de onda de cada color R (700 nm), G (546.1 nm) y B (435.8 nm). De esta manera, las señales primarias o las portadoras de color solo contribuyen con la información de crominancia (*hue o color*) y la saturación (grado de pureza del color) menos la información de brillo (luminancia) la cual está contenida en la señal de luminancia Y.

La transmisión de información a color debe llevar las siguientes especificaciones:

### **Luminancia**

(A) Componente 1: Luminancia o sea la suma de los colores primarios y es igual a la señal **Y**.

### **Crominancias Primarias**

(B) Componente 2: se obtiene de la mezcla del Rojo y el verde. Esta señal, no contiene ninguna cantidad de azul y es denominada la señal cero-azul o **R-Y**.

(C) Componente 3: se obtiene de la mezcla del azul con el verde. Esta señal, no contiene ninguna cantidad de rojo y es denominada la señal cero-rojo o **B-Y**.

## **D. Sistemas de Grabación**

### **1. Grabación Compuesta**

Este es el sistema standard original de la NTSC, en este formato es utilizado por los tres sistemas de televisión existentes (NTSC, PAL, SECAM). En el se parte de las señales de luminancia (**Y**) y de diferencia de color (**R-Y**, **B-Y**). Dichas componentes son grabadas en forma compuesta, como una señal de video en una cinta magnética, en un disco láser o en otros elementos electrónicos. En este sistema, se graba un canal de video y se pueden grabar hasta 3 canales de audio.

### **2. Grabación por Componentes**

Este sistema permite mayor calidad en la grabación de las señales, ya que se graba por separado cada una de las señales, los equipos de grabación y reproducción de señal por componentes tienen entradas y salidas separadas para cada una de las señales (**Y**, **R-Y**, **B-Y**).

### **3. Grabación Digital D1**

En este formato, se digitalizan las tres señales  $Y$ ,  $K_1(R-Y)$ ,  $K_2(B-Y)$ , en los que  $K$  representa un factor de multiplicación determinado por las características del sistema digital. La luminancia se muestrea a una frecuencia de 13.5 Mhz y cada diferencia de color a 6.75 Mhz, se hace una cuantificación lineal y una codificación de 8 bits por muestra por la luminancia y cada señal de diferencia de color hay 220 niveles de cuantificación de luminancia y 224 niveles de cuantificación de crominancias. Este sistema por ser una señal digital es menos susceptible al ruido y mantiene la calidad de la señal en todas las grabaciones y reproducciones.

### **4. Grabación Digital D2**

Este formato digital, propone digitalizar las señales compuestas. Su principal virtud es eliminar el ruido al ser una señal digital, pero no evita el problema de las distintas normas de televisión. Presenta la ventaja de ser más viable su montaje en sistemas analógicos existentes.

## **E. Sistemas de Transmisión de Televisión**

Ya con la imagen tomada, lo único que se hace es modular la señal de video y agregarle el audio para poder transmitirla en una portadora para convertirla así en una señal de televisión. Una señal de televisión, tiene un ancho de banda de 6 MHz, La portadora de video está localizada en 1.25 MHz, la aural o portadora de audio está 0.25 MHz abajo de la frecuencia límite del canal, o sea en 5.75 Mhz. La banda lateral superior (*uper sideband* ) esta localizada en 4.5 MHz de los 6 MHz del canal. La portadora de la crominancia esta en 3.579545 Mhz.

La señal de televisión transmitida como una señal compuesta en una portadora de RF es hecha de la siguiente forma:

1. La onda portadora de RF es generada por un cristal oscilador y luego amplificada
2. La señal de video producida por una cámara o reproducida por una maquina reproductora es amplificada y modulada por la portadora de RF
3. Los pulsos de sincronismo son los siguientes:
  - A Pulso horizontal de blanking (*pedestal horizontal* )
  - B Pulso de sincronismo horizontal (*constructed on the H pedestal*)
  - C Pulso vertical de blanking (*pedestal vertical* )
  - D Pulso de sincronismo vertical (*constructed on the V pedestal* )
  - E Pulsos de ecualización, preceden y siguen a los pulsos de sincronismo vertical

En televisión, la máxima señal de modulación corresponde al negro que es el 75%, mientras que un nivel blanco corresponde al 10 o 15% (nominalmente 12.5%) o sea cercano al nivel de *blanking*. Pero nunca llega al 0%, el restante 25% de la amplitud arriba del blanco corresponde a los pulsos de sincronismo.

El método estándar utilizado en Guatemala es el NTSC, o sea el de transmisión negativa. Las ventajas que tiene este sistema es que utiliza menos potencia, ya que la potencia promedio que se manda es menor, pues los pulsos de sincronismo y los negros totales, son menores que las imágenes. Las imágenes contienen mayores cantidades de luz, lo cual hace que la potencia promedio sea menor. Además, la transmisión negativa permite usar un nivel de pedestal (el nivel negro) y los picos de sincronismo, con lo cual el ajuste de nivel en el receptor se hace mas fácil, ya que los pulsos de sincronismo, al tener el nivel preestablecido, hacen que la imagen esté funcionando dentro del nivel normal.

Los micrófonos, son transductores de audio, que convierten las ondas de sonido en variaciones de presión de aire que corresponden a ondas eléctricas. Las cámaras son transductores de video, que convierten imágenes, a través de lentes, en ondas eléctricas.

## F. Transmisión Vía Satélite

En 1959 fue posicionado el primer satélite de comunicaciones en una órbita no sincrónica. A partir de entonces empezó a desarrollarse todo tipo de transmisión vía satélite. En la actualidad existen cientos de satélites de comunicaciones, de los cuales un número apreciable de los mismos sirven para transmitir señales de televisión.

Los satélites están posicionados a 35,850 kilómetros de la tierra, en la órbita sincrónica geoestacionaria. Se denomina sincrónica, porque los satélites orbitan la tierra en un período igual al de la rotación de la misma o sea 24 horas. Es llamada geoestacionaria, porque para la tierra los satélites siempre están en la misma posición. A esta distancia la fuerza de atracción es igual a la fuerza de repulsión, de manera tal que los satélites no tienden ni a alejarse mas ni a acercarse hacia la tierra.

Existen satélites no sincrónicos, los cuales orbitan la tierra en un periodo mayor o menor a 24 horas, el efecto es que para la tierra estos satélites están en movimiento. Esto causa problemas para la captación de sus señales, ya que las antenas deben de estar en movimiento siguiendo a los mismos, lo cual significa mayor costo en la operación, además de que no permite utilizar antenas de mucho tamaño debido a que tienen que estar en constante seguimiento del satélite.

Los satélites geoestacionarios, están siempre en la misma posición. Además, para asegurar esta posición, poseen motores que los impulsan para mantenerse estáticos. Obviamente, estos motores no son los que se utilizan para llevarlos a su órbita, ya que los mismos son lanzados a dicha órbita, por medio de un vehículo espacial (transbordador, cohete, etc.).

Los satélites, normalmente poseen celdas solares como fuente de energía para los equipos electrónicos de a bordo, ya que los motores que poseen no necesitan mucha energía pues únicamente sirven para ajustar su posición.

Los satélites de comunicaciones utilizados en CATV, utilizan 500 MHz del espectro, localizados entre 4 y 6 GHz. La frecuencia de bajada (*downlink*) o sea con la que se transmite del satélite hacia la tierra, está entre 3.7 a 4.2 GHz y la frecuencia de subida (*uplink*) o sea con la que se transmite de la tierra al satélite, está entre 5.925 y 6.425 GHz. Estas frecuencias están en el rango de las microondas, por lo que para captar las señales de bajada se utilizan antenas parabólicas.

No todos los satélites de televisión transmiten en las frecuencias 3.7 a 4.2, que es lo que se conoce como Banda C, sino que algunos transmiten en otras bandas, conocidas como bandas Ku. En estas, a diferencia de la banda C no hay un standard general. La banda Ku americana tiene una frecuencia de bajada (*downlink*) de 11.7 a 12.2 GHz, lo que significa que el ancho de banda es el mismo que la banda C, y también se transmiten 24 transponders. Existen otros estándares de banda Ku, el intelsat Ku-Band que tiene un *downlink* de 11.45 a 11.95 GHz.

Las diferencia básica entre la banda C y la banda Ku es la diferencia en frecuencias, lo que hace que las transmisiones en banda Ku sean mucho mas direccionales que las transmisiones en banda C. Esto provoca una desventaja ya que no va a poder abarcarse áreas tan grandes en transmisiones en *Ku-Band* como se logra en *C-Band*. A cambio de lo anterior, tiene la gran ventaja de por tener una longitud de onda menor, las señales en *Ku-Band* pueden ser captadas con una antena de menor tamaño.

Los satélites tienen su señal de bajada dirigida hacia cierta área. Conforme se aleja más de dicha área la señal del satélite, es más débil. El satélite tiene entonces un patrón de transmisión de energía que se conoce como “huella” del satélite. Cada satélite posee 24 canales (*transponders*), cada uno de los cuales tiene un ancho de banda de 36 MHz y una separación de 4 MHz, lo que significa que en un ancho de banda de 500 MHz solo se ubican 12, pero como se utiliza transmisión polarizada, esto significa que unas señales son transmitidas con ondas electromagnéticas en posición vertical y otras señales son transmitidas en posición horizontal. Esto hace posible la transmisión de 24 *transponders*, de los cuales 12 son verticales y 12 horizontales, de manera intercalada. Esto significa que normalmente, los canales impares (1,3,5,..23) son verticales y los canales pares (2,4,6,..24) son horizontales. Esto no es ninguna norma o patrón, ya que existen satélites que transmiten de manera invertida, o sea los canales (*transponder*) impares son horizontales y los pares verticales.

En ciertas ocasiones se utiliza también la polarización circular, la cual utiliza el mismo concepto en cuanto a la radiación de las ondas electromagnéticas, de un desfase de 90 grados. Por ello unas ondas electromagnéticas giran en un sentido y las otras en el sentido inverso; lo que significa que los *transponders* pares están en la polarización circular derecha y los impares en la polarización circular izquierda o viceversa.

La compresión (*ver Apéndice D*) permite en la actualidad que un *transponder* normal pueda transmitir en lugar de un canal de televisión, 16 canales; lo cual significa que un satélite transmitiendo en compresión digital, podría transmitir en lugar de 24 canales de televisión 384 canales de televisión.

Los satélites que transmiten señales de televisión, cuya huella es captable en Guatemala, con una antena normal (16 a 24 pies) son alrededor de 15, (ver tabla 3.1). Aunque existen otros satélites americanos y canadienses cuya señal se puede captar aunque no con estándares de calidad adecuados, estos satélites son Anik 1, Anik 2, Telstar 303, Telstar 401, Galaxy 3, Telstar 302. Además de algunos otros.

**TABLA 3.1**

**Satélites Existentes con Huella en Guatemala**

<b>SATÉLITE</b>	<b>POSICIÓN</b>	<b>DIÁMETRO MÍNIMO</b>
SATCOM C1	137°W	16
SATCOM C4	135°W	12
GALAXY 1R	133°W	16
SATCOM C3	131°W	12
GALAXY 5	125°W	24
MORELOS 2	116.8°W	9
SOLIDARIDAD 2	113°W	9
SOLIDARIDAD 1	109.2°W	7
GALAXY 4	99°W	24
GALAXY 7	91°W	24
SPACENENT 3	87°W	20
SATCOM F2	72°W	20
SPACENENT 2	69°W	20
PANANSAT 1	58°W	20
INTELSAT 303	51°W	20
HISPASAT	49°W	12

La geografía de satélites es muy cambiante, ya que cada año hay en proyecto nuevos satélites, algunos para reemplazar a satélites ya existentes, como ha ocurrido con Galaxy 1R que reemplazo a Galaxy 1, así como Satcom C4 que reemplazo a F4. Existen varios ejemplos mas. También hay en proyecto el lanzamiento de nuevos satélites, como Panamsat 3, Solidaridad 3, y otros mas para 1,995 y 1,996, por lo cual la tabla 3.1 es solo una muestra de la situación actual a principios de 1,995.

La señal que va de la antena al satélite y viceversa, tiene una pérdida de señal bastante grande del orden de los 200 dB. Esta se puede calcular con la siguiente formula:

$$L = 96.6 + 20 \text{Log}_{10} F + 20\text{Log}_{10} D \quad (\text{Ec. III.2})$$

F (frecuencia en GHz)

D (Distancia en millas)

Las antenas parabólicas concentran la energía, de manera tal, que en el foco de la parábola se obtiene una ganancia de señal del orden de 45 dB. Esta ganancia varía dependiendo del diámetro de la antena y está dada por la siguiente formula:

$$G = 20 \text{Log}_{10} D + 20 \text{Log}_{10} F + 7.5 \quad (\text{Ec. III.3})$$

D = diámetro de la parabólica en pies

F = frecuencia de recepción en GHz

La antena parabólica concentra su señal en el foco de la antena. En el foco de la antena se coloca una guía de onda, la cual se reconoce como "*feed horn*". Conectado a esta guía de onda, está un amplificador de bajo nivel de ruido y un conversor de frecuencia, el cual baja la señal de 3.7/4.2 GHz a 950/1450 MHz. Este amplificador, se conoce como LNB, *Low Noise Block Down Converter*.

Este nombre, se deriva de que en un inicio, las antenas utilizaban dos etapas distintas, una de amplificación, la cual la efectuaba un LNA (*Low Noise Amplifier*) y la etapa de bajada de frecuencia que efectuaba un conversor de frecuencia (*Down Converter*). Luego surgió el LNB que era un amplificador y conversor de frecuencia en un solo bloque. En la actualidad, se fabrican casi solamente LNB's.

Los LNB's tienen una amplificación del orden de 60 dB y lo único que varía es su temperatura, lo que significa que tan alejados están del ruido térmico. Cuanto menor es el gradaje de un LNB mejor es su calidad, ya que más se aproxima a un amplificador ideal, (a principios de 1,995 existían comercialmente LNB de 15 grados). Las antenas comerciales o para sistemas de cable utilizan un "dual feed", y dos LNB's, uno para cada polaridad.

En las antenas "domésticas", (las que se usan para una casa), se utiliza un single feed y un LNB, además de un "polarrotor", el cual es simplemente un switch que hace girar la antena del "feed horn" 90 grados, de manera tal, que en una posición se captan las ondas verticales y en la otra posición las ondas horizontales. El polarrotor va conectado al receptor a través de 3 hilos, uno sirve como tierra, otro como alimentación de voltaje y un tercero que es el que envía el pulso de cambio de dirección.

Cuando la polaridad es circular, el polarrotor efectúa la misma función. Lo que difiere, es el *feed horn*, el cual posee un dieléctrico que parte en diagonal el centro del mismo, de manera que las ondas circulares se puedan dirigir hacia la antena. Si el *feed horn* que se tiene, no es para polaridad circular, es necesario agregar el dieléctrico al *feed horn* normal, para que este pueda captar las señales. El dieléctrico debe alinearse de manera que forme ángulo de 45 grados con la antena interna del *feed horn*.

### **G. Equipos de Recepción**

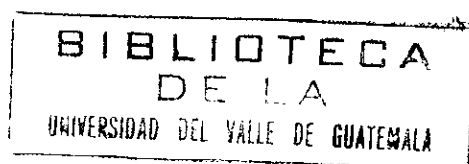
Ya la señal que se obtiene del LNB puede ingresar directamente a un equipo de recepción "receiver". La función de los receptores es básicamente obtener las señales de televisión que se transmiten por medio de cada transponder.

La primera función de un receptor, es separar la señal que ingresa al mismo; del LNB baja el ancho de banda completo (950-1450 MHz), o sea los 24 transponders, el receptor tienen un sintonizador de 1 al 24 el cual sirve para seleccionar cada transponder, en los receptores comerciales solo se ingresa una polaridad a la vez, lo que significa que solo se captan los canales pares o impares. En los receptores domésticos, existe un controlador del polarrotor, el cual permite cambiar la polaridad de la antena, de manera tal que se puedan captar tanto los canales pares como impares.

Los receptores separan además del audio y el video la banda base, la banda base incluye además del video toda la información adicional que contiene el transponder, ya que una señal de video tiene únicamente 6 MHz de ancho de banda y el transponder posee un ancho de banda de 20 MHz. En la banda base, puede ir la información de codificación, datos, otros canales de audio, en fin cualquier información que se desee mandar.

Los receptores modernos, poseen un switch para seleccionar entre la banda C y la banda Ku de manera que se pueda captar con el mismo receptor la transmisión. Para principios de 1,995 los canales de televisión están codificados en su mayoría y además, casi todos transmiten en estéreo y en dos o tres idiomas, por lo cual ocupan 2 o 3 canales de audio.

Los receptores, poseen además una salida modulada (normalmente en canal 4) en la cual se tiene una señal de audio y video modulada en un canal, lo cual permite monitorear o captar directamente la señal del receptor con un televisor.



Los receptores comerciales, poseen además del sintonizador, un juego de filtros de IF (frecuencias intermedias) los cuales permiten eliminar algunos residuos de ruido, además de poseer un ajuste fino, el cual consiste simplemente en filtros variables que permiten tener una selección mas exacta de la frecuencia que se está captando. Esto es también para lograr el mejor nivel de señal así como de calidad de video.

Los receptores comerciales, tienen control sobre el nivel de video de manera que se pueda ajustar la señal de video en su salida a 1 Voltio pico-pico. Normalmente, traen fija la portadora de audio a 6.8 MHz, pero tienen un control ajustable de la portadora en el rango de 5.4 a 8.2 MHz, de manera que se pueden captar así todas las portadoras de audio o datos que posea el transponder.

## **II. Decodificadores**

Como muchas de las señales en la actualidad están codificadas, se hace necesario además del receptor un descodificador. La función del mismo como su nombre lo indica es descodificar la señal. En la actualidad, existen varios tipos de codificación. El mas utilizado, es el sistema:

Videocipher II, el cual es una combinación de inversión de vídeo, inversión de sincronismo y de fase. Las señales de codificación se envían como pulsos digitales, de manera tal que el equipo descodificador, al recibir estos pulsos, convierte la señal a un video normal y limpio, con los estándares de NTSC. En la actualidad, existe una versión mejorada del sistema conocida como Videocipher II Plus. Para poder captar una señal de Videocipher, el descodificador que recibe la señal tiene que estar “*activado*”. Esta activación, se hace vía satélite, y en la misma, se transmite toda la información para activar el equipo.

Un decodificador Videocipher puede ser activado para captar una o varias señales. Existen mas de 100 canales que utilizan el sistema Videocipher, de manera que el sistema es lo suficientemente selectivo como para que al sintonizar un canal activado, la señal se capte y cuando sea un canal no activado no se capte nada. Cuando una señal no esta codificada, el Videocipher permite que se capte libremente.

Además de Videocipher existen otros tipos de codificación, como B-Mac, y el sistema Litech. Estos utilizan el mismo concepto que el sistema Videocipher, con la diferencia que su codificación es distinta. En la actualidad, existe un nuevo sistema de codificación, que es el Digicipher, el cual además de codificación, es una compresión de la señal. El sistema Digicipher convierte las señales análogas en pulsos digitales. Luego efectúa un muestreo de las señales digitales, de manera que de el ancho de banda original de 6 MHz que tiene un canal de televisión, se comprime la señal, para ocupar únicamente 1 MHz, además de comprimirla el sistema Digicipher la codifica la señal.

En la actualidad, existen unidades denominadas IRD (*Integrated Receiver Decoder*), las cuales efectúan la función de receptor y decodificador a la vez; los IRD de Digicipher además de ser receptor y decodificador sirven para efectuar la descompresión de la señal.

## **I. Moduladores**

Cuando se tienen señales de vídeo y audio, no importa que sean de satélite, de canales de televisión local o de una videograbadora. Para que la señal pueda ser introducida a un sistema de cable, se necesita de un modulador. La función del modulador es tomar cualquier señal de audio y video y modularlas sobre una portadora de RF.

En un sistema de cable, cualquier señal puede ir en cualquier canal. El orden y agrupamiento de las señales, dependerá del criterio de los ejecutivos de la empresa de cable. Los moduladores, tienen entradas de audio y video y salida de RF, aunque la mayoría posee puentes de IF de manera que se pueden acceder las portadoras de crominancia y sincronismo.

En los moduladores, se tiene control del nivel de modulación del video y de la modulación de audio. La modulación de video se debe mantener en el orden del 75% de manera que la señal no se sature ni se vea débil. También se tiene control del nivel de video y del nivel de audio. El nivel de video, se debe de mantener en 1 voltio pico-pico que es el estándar de transmisión. El nivel de audio, se debe fijar en un punto intermedio. Lo importante es que el nivel de audio sea el mismo en todos los equipos. Se tiene control de la relación portadora de audio - portadora de video, esta se debe mantener normalmente en un nivel de 15 dB mayor la de video que la de audio.

El nivel de salida de RF de los moduladores, debe de ser de +/- 2 dB al punto donde la relación C/N del modulador es mejor. Aunque se tienen que considerar siempre las frecuencias adyacentes para evitar que existan crosmodulaciones o composite triple beat, de manera que el nivel optimo puede ser sacrificado (ver secciones IV.C.3 a IV.C.6)

Para evitar al máximo, las intermodulaciones, es necesario utilizar combinadores con filtros, o lo mas adecuado es utilizar filtros pasa-banda en todos los canales, evitando con ello todo tipo de intermodulaciones. Los filtros pasa banda, como su nombre lo indica, filtran una banda de manera que un filtro pasa banda canal X, solo deja pasar las señales del canal X y atenúa a las demás señales de 60 a 80 dB, evitando así las intermodulaciones.

A la salida de los moduladores, es necesario chequear la amplitud de la luminancia, la relativa de crominancia-luminancia y de los sincronismos. Todos estos niveles, deben estar en sus puntos adecuados ya que al pasar por la red, si los niveles no son adecuados, las distorsiones se van acentuando.

En los sistemas de CATV, muchas veces se introducen las señales de televisión de las estaciones locales. En Guatemala según la ley de cable todas las estaciones de VHF deben introducir en la frecuencia que le corresponde dentro de la señal de cable. Para agregar las señales locales, la forma más adecuada de hacerlo, es utilizando un procesador de señal, el cual como su nombre lo indica procesa la señal, o sea toma la portadora de RF y la pasa por un filtro pasa banda interno y por un amplificador de señal, de manera que a su salida se obtiene la misma señal de RF con la diferencia que se tiene control en su nivel de salida de RF.

Existen procesadores que tienen la opción de tomar una señal de RF y montarla en otra portadora de RF distinta a la original. Esto es útil, cuando se desean tomar señales de canales locales de UHF y retransmitirlas en canales de CATV. Los procesadores, tienen ventaja sobre los moduladores cuando se trabaja con señales locales, ya que al usar un modulador se introduce ruido, pues primero se desmodula la señal local y luego se vuelve a modular, lo que significa una etapa de ruido. Además, al desmodular y modular, hay desfases entre las señales teniéndose así, mayor susceptibilidad a interferencias en las señales que van a través del cable, provocada por las señales de RF de las estaciones locales que viajan a través del espacio.

Si la red no esta bien construida, y tiene puntos abiertos, aunque se usen procesadores existirán interferencias en las señales procesadas. Se tiene que chequear que en los moduladores estén en las frecuencias correctas, ya que a veces, sufren pequeños desfases de frecuencia. Estos pequeños desfases, causan problemas en la captación en los televisores de los suscriptores. La mayoría de moduladores tienen ajustes de frecuencia para evitar los mismos.

Todos los moduladores y procesadores, deben estar en un nivel de salida de RF parecido. Para combinar los distintos moduladores es preferible, combinarlos por bandas, esto básicamente para que al tener problemas de intermodulación, sean mas fácilmente detectables. Si se utilizan combinadores con filtros, cada canal debe tener su entrada prefijada.

La parte de combinación, es muy importante en un sistema de televisión por cable, ya que en la misma pueden surgir interferencias o intermodulaciones, por lo cual aunque todos los moduladores aparentemente estén bien ajustados, es necesario chequear que en la combinación no existan intermodulaciones. Luego que se tienen ya combinadas todas las señales es que se pueden enviar a través de un cable coaxial o fibra óptica y trasladarse a través de una red de televisión por cable.

## IV. SISTEMAS DE CATV

### A. Definición

Los sistemas de televisión por cable, son aquellos que utilizando un medio distinto al espacio, específicamente cable, transmiten señales de televisión a través del mismo. En la actualidad, este medio distinto al espacio, se ha extendido no solo al cable metálico de cobre, sino a fibra óptica. Además no solo se transmiten señales de vídeo sino que también señales de voz, y datos.

### B. Cable Coaxial

#### 1. Definición

Se define como cable coaxial a dos conductores metálicos separados por un material dieléctrico. Específicamente, el cable coaxial como su nombre lo indica, consiste en un conductor central y un conductor externo que lo rodea, de manera axial. Ambos separados por un material dieléctrico aislante que los separa. Este conductor externo aísla al conductor central, creando un medio totalmente aislado en donde circulan las ondas electromagnéticas.

#### 2. Características

El cable coaxial por ser un medio de transmisión no perfecto, tiene pérdidas de señal debido a que es un medio que presenta resistencia y en el cual al transmitir una señal a través de él, la potencia se va perdiendo (*atenuando*) al ir recorriéndolo. Cuanto más alta es la frecuencia de la señal, mayor es la atenuación que tiene la misma al transmitirse a través de cable coaxial. Esto se debe a un fenómeno llamado "*efecto skin*".

El efecto “*skin*” consiste en que cuando una corriente alterna recorre un conductor metálico, los electrones tienden a moverse principalmente en su superficie, debido al ordenamiento de los dipolos magnéticos. Cuanto mayor es la frecuencia de la señal transmitida, mayor es el ordenamiento de los dipolos, lo cual hace que los electrones tiendan a moverse mucho más en la superficie, por ello las señales de mayor frecuencia, sufren una mayor atenuación en el cable.

Por lo anterior, al tener un diámetro pequeño en el conductor central, los electrones tienen menos espacio para fluir y por consiguiente, la atenuación o pérdida de potencia en la señal, es mayor en un cable de diámetro menor que en uno de diámetro mayor.

### 3. Impedancia

Los cables tienen una impedancia característica, la cual es función del radio del diámetro del conductor central, del diámetro del conductor externo y del tipo de dieléctrico que los separa (constante K del dieléctrico). Cada dieléctrico tiene una constante K la cual es la relación del mismo, respecto a la constante K del aire. La impedancia de un cable, esta dada por la siguiente ecuación:

$$Z = 138 \frac{\text{Log } D/d}{(K)^{1/2}} \quad (\text{Ec. IV.1})$$

Z = Impedancia característica

D = Diámetro del conductor externo

d = Diámetro del conductor interno

K = Constante del dieléctrico

Cuando la relación de radios de los conductores, dan una impedancia característica de 75 ohm, la transmisión de potencia es óptima ya que es el punto en donde las pérdidas de señal se minimizan a las frecuencias en las que trabaja las señales de CATV. Por lo mismo, todos los cables, no importando su diámetro, tienen una impedancia característica de 75 Ohm.

Debido a que el cable tiene una impedancia característica de 75 ohm, todos los componentes de un sistema de cable, tienen una impedancia característica de 75 ohm. Esto se hace para tener así una eficiente transferencia de energía. Además, al tener una impedancia similar en todos los componentes, se evitan reflexiones de energía.

#### 4. Atenuación

Las pérdidas de la potencia de señal en el cable, se deben aproximadamente en 2/3 al diámetro y resistencia del conductor central y el restante 1/3 se debe al tipo de dieléctrico y a la relación de diámetros. Y por supuesto, a la frecuencia a la que se transmite la información o señales. En síntesis la atenuación del cable está dada por la siguiente ecuación:

$$\Lambda = 3296/Z_0 * ((\rho_d^{1/2} / d) + (\rho_D^{1/2} / D)) * F^{1/2} + (0.884 * P_1 * d_r * F) / V_g \quad (\text{Ec. IV.2})$$

$Z_0$  = Impedancia característica =  $60 V_g \ln (D / d)$  (ohm)

$\rho_d$  = Resistividad del conductor central (ohm-m)

$\rho_D$  = Resistividad del conductor externo (ohm-m)

$d$  = diámetro exterior del conductor central (pulgadas)

$D$  = diámetro interior del conductor externo (pulgadas)

$F$  = frecuencia (MHz)

$d_r$  = factor de disipación del dieléctrico (adimensional)

$V_g$  = Velocidad relativa de propagación (adimensional)

Si se desea minimizar la atenuación en el cable, se puede incrementar la  $V_g$  y el  $D$ . La velocidad relativa de propagación tiene un límite, ya que su máximo es cerca de 1; el tamaño del cable es el que determina el valor de  $D$ . Se observa que si se incrementa  $d$  se reduce la pérdida, pero existe un límite, ya que al incrementar  $d$ , también se afecta el  $Z_0$ . Lo que conduce a dos valores óptimos de  $d$  y de  $Z_0$  con los cuales se obtiene la menor atenuación posible y son:

$$d = 0.2636 * D$$

$$Z_0 = 79.99 * V_g.$$

La  $V_g$  en dieléctrico es normalmente de 0.87, 0.88 para los cables troncales (*trunk cable*) y 0.82, 0.83 para los cables de distribución (*drop cable*). Existe un modelo de cable denominado  $MC^2$  el cual tiene anillos de dieléctrico cada pulgada, dejando vacío el resto, con lo cual el aire funciona como dieléctrico, lo cual aumenta la velocidad de propagación a 0.93 obteniéndose así una pérdida 20% menor.

La  $V_g$  en dieléctrico es normalmente de 0.87, 0.88 para los cables troncales.

Los cables coaxiales más comúnmente utilizados en Guatemala son RG-59, RG-6 y el RG-11 los cuales son cables de distribución y el RG-500 el cual es cable troncal o de línea principal. En la tabla 4.1 se presenta una comparación de las pérdidas de señal que tienen estos tipos de cable. Existen otros tipos de diámetros de cable pero su uso es mínimo en Guatemala.

**TABLA 4.1**

**Pérdidas en decibeles por cada 100 metros de cable coaxial a 20 °C**

CANAL	FREC	RG-59	RG-6	RG-11	RG-500
T-10	5	2.72	2.06	1.31	0.52
2	50	6.00	4.56	2.90	1.71
98	108	8.46	6.73	4.46	2.49
13	216	12.01	9.58	6.40	3.64
36	300	14.17	11.35	9.31	4.30
45	350	15.29	12.27	8.23	4.69
53	400	16.37	13.12	8.83	5.02
62	450	17.36	13.94	9.38	5.35
70	500	18.31	14.73	9.94	5.68
78	550	19.23	15.49	10.47	5.97

## 5. Temperatura

El cable coaxial se ve afectado por los cambios de temperatura, debido a que al disminuir la temperatura se facilita el flujo de electrones, lo cual provoca que ofrezca una menor resistividad al flujo de la señal y por consecuencia, la señal tenga una pérdida menor. Obviamente cuanto mayor es la distancia de cable que se tenga, los efectos por temperatura serán mucho mayores.

La variación de señal es del 2.16% por cada °C de variación en la temperatura, En la tabla 4.2 se puede apreciar que los efectos de temperatura en una línea de 10 Kilómetros son mucho mayores que en una línea de 1 Kilómetro. Además, se puede observar que cuanto mayor es la frecuencia mayor es la pérdida y por consiguiente el problema de variación de niveles, se hace mayor. El problema es más grave, cuando se considera que normalmente las frecuencias altas son las que tienen mayor nivel en una línea.

**TABLA 4.2**

**Perdidas en decibeles en 1 Kilómetro de cable 500 a distintas temperaturas**

FREC	10°C	20°C	30°C	dif 20/30°C
50	17.47	17.10	16.74	0.64
300	43.93	43.00	42.09	0.91
500	58.03	56.80	55.56	1.24

Como se observa claramente en la tabla 4.2 en una línea de 1 Kilómetro el problema de variación por temperatura no es lo suficientemente significativo. Pero en una línea donde hay 5, 10 o hasta 20 kilómetros de cable, el problema se vuelve muy significativo y hace que el sistema quede fuera de especificaciones.

Para compensar este efecto, los amplificadores básicos troncales poseen un compensador termal, el cual consiste en un termistor que ajusta la ganancia de señal respecto a la variación de temperatura, logrando con ello que la señal de salida en el amplificador sea constante.

Los efectos de variación por temperatura, se deben considerar principalmente en líneas aéreas, ya que en las líneas subterráneas el efecto de variación por temperatura se reduce a un 5% a 10%. Cuando el cable va enterrado a más de 40 centímetros y la temperatura se mantiene en el rango de 0°C a 25°C. Por lo cual en Guatemala, en una línea subterránea, los efectos por temperatura, no son perceptibles a menos que sea una línea de 20 o más kilómetros de largo, o que la misma haya sido enterrada a una profundidad menor. En líneas enterradas a 1 metro o más de profundidad, la variación por temperatura es casi imperceptible.

Cuando las líneas van en ductadas, la variación de temperatura se hace menor, ya que el cable queda en un medio todavía más estable, siempre y cuando el ducto este limpio y no se llene de agua u otro material que deteriore el forro del cable y disminuya su protección a la temperatura. Los cables troncales son más estables con el paso del tiempo a las variaciones por temperatura que los cables de distribución o “drop” (RG-59, RG-6, RG-11). La razón, es que estos por efecto del sol, tienden a perder sus características, a presentar mayor atenuación y a volverse más susceptibles a variaciones por efecto de temperatura.

## C. Transmisión

### 1. Decibel

El decibel es una medida logarítmica que permite determinar la relación de potencias en un punto dado, ya sea un derivador, un amplificador o un tramo de cable.

$$dB = 10 \text{ Log } P_1 / P_2 \quad (\text{Ec. IV.3})$$

En los sistemas de CATV se utiliza el decibel-milivolt como medida de señal. Esta unidad, permite obtener del decibel que es una relación de potencias, un valor de potencia específico. Se define al decibel milivoltio con la siguiente ecuación:

$$0 \text{ dBmV} = 1 \text{ mV medido por una resistencia de } 75 \text{ ohm.}$$

Utilizando la ley de Ohm se puede calcular que representa 0 dBmV:

$$0 \text{ dBmV} = P = \frac{E^2}{R} = \frac{(1\text{mV})^2}{75} = \frac{1 \times 10^{-6}}{75} = .0133 \times 10^{-6} \text{ watt (Ec. IV.4)}$$

## 2. Ruido

La transmisión a través de un sistema de cable coaxial, sufre pérdidas de la potencia de señal, por lo que la señal debe ser amplificada para poder recorrer todo el sistema. Cada amplificador, introduce ruido y distorsión al sistema, por lo que obviamente cuanto mayor es el sistema, más amplificadores se tienen y por consiguiente mayor ruido y distorsión tiene la señal.

Cualquier amplificador genera ruido internamente debido al movimiento aleatorio de los electrones de los materiales conductores que lo constituyen. Este es conocido como ruido termal (thermal noise) y tiene un valor en decibeles que es de aproximadamente -59dBmV.

El ruido termal que aparece en una resistencia R esta determinado por la siguiente ecuación:

$$V_n^2 = 4 K * T * R * (h * f / K * T) * 1 / (e^{h * f / K * T} - 1) * df \quad (\text{Ec. IV.5})$$

donde  $V_n$  = Valor RMS del voltaje del ruido

$h$  = Constante de Planck =  $6.62 \times 10^{-34}$  joule-seg

$f$  = frecuencia en hertz

$T$  = temperatura en °K

$R$  = impedancia en ohm

$K$  = Constante de Boltzman =  $1.38 \times 10^{-23}$  J/°K

Para frecuencias del orden de 50 KHz a 1 GHz que son las que se manejan en televisión por cable la ecuación IV.5 se reduce a:

$$V_{n2} = 4 K * T * R * \int_0^{\infty} \frac{G(f) df}{G_0} \quad (\text{Ec. IV.6})$$

Donde  $G(f)$  es la respuesta de potencia de un sistema respecto a la frecuencia, y  $G_0$  es el valor pico de  $G(f)$ . El equivalente del ancho de banda del ruido se puede representar como una onda cuadrada que tiene la misma amplitud y la misma área. Lo que para un canal de video de 6 MHz da un ancho de banda de 4 MHz centrados en el mismo. La impedancia del cable se considera únicamente la parte resistiva (75 Ohm) y la temperatura se considera 21°C (294°K), con lo cual se tiene de la ecuación (IV.6).

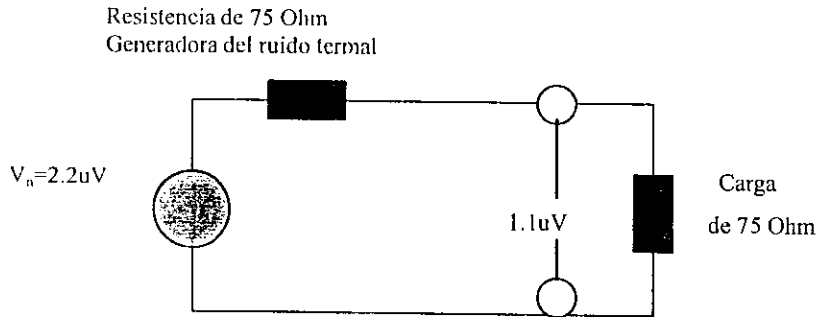
$$V_n = \text{SQR} (4 * 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/°K} * 294^\circ\text{K} * 75 \text{ Ohm} * 4 \times 10^6 \text{ Hz})$$

$$V_n = 2.2 \text{ uV} \quad (\text{Ec. IV.6a})$$

Si la fuente de 2.2uV se conecta a una carga de 75 ohm se tiene que la mitad del voltaje quedará en dicha carga

## GRAFICA 4.1

## Diagrama de una carga de 75 Ohm con una fuente generadora de ruido termal



Se tiene entonces que el voltaje dado por el ruido sobre la carga de 75 ohm es de  $1.1 \mu\text{V}$  o sea  $-59.1 \text{ dB}$ , que para efectos de cálculo se considera como  $-59 \text{ dBmV}$ . Lo que interesa para determinar la calidad de señal, es la relación que existe entre la señal que se transmite y el ruido (S/N), la relación señal ruido se define como la razón entre una señal de 4 MHz y el ruido.

En un sistema donde existen portadoras de RF como lo es un sistema de CATV, se define la respuesta del sistema al ruido como la relación *Carrier to Noise* (C/N) y ésta es del orden de alrededor de 4 dB mayor que la relación S/N. Los fabricantes de amplificadores dan un valor en decibeles que se conoce como figura de ruido y esta significa que tan cerca del ruido termal está un amplificador. Por lo que para calcular la relación C/N de un amplificador se tiene la siguiente ecuación:

$$C/N = IN + 59 - NF \quad (\text{Ec. IV.7})$$

IN : Entrada de señal al amplificador en decibeles.

59 : valor del ruido termal.

NF: figura de ruido del amplificador.

RUIDO DE UN SISTEMA (Aplicando logaritmos)

$$C/N_s = C/N - 10 \text{ Log } (X) \quad (\text{Ec. IV.8})$$

X = # amplificadores en cascada.

Un sistema para ser considerado dentro de niveles standard de calidad (ver tabla 4.3), según la TASO (*Television Allocations Study Organization*) y la FCC (*Federal Communications Commission*), debe poseer una relación C/N de 43 dB, lo que significa una relación S/N de 39 dB. En la tabla 4.3 se puede observar cómo, según la TASO, es la calidad de la señal dependiendo del nivel de la relación señal a ruido (S/N).

**TABLA 4.3**

**Calidad de señal dependiendo de la relación señal ruido existente**

TASO Picture Rating	S/N	C/N
Excelente	45 dB	49 dB
<b>Nivel Mínimo de Calidad</b>	<b>39 dB</b>	<b>43 dB</b>
Nieve Fina	35 dB	39 dB
Nieve Perceptible pero aceptable	30 dB	34 dB
Marginal (nieve objeccionable)	25 dB	29 dB

### 3. Intermodulación

Cualquier amplificador que se utiliza es no-lineal, lo que produce que al ingresar señales al mismo, estas a la salida se causan distorsiones entre si, estas distorsiones son llamadas intermodulaciones. El resultado de la intermodulación es la generación de muchas señales secundarias, las cuales se superponen a las señales o informaciones que se desean transmitir, en el caso del video, cuando estas señales llegan a cierto nivel empiezan a ser visibles y causan una interferencia en la señal de video que se transmite.

Existen tres intermodulaciones que pueden causar efectos en el video, que son la crosmodulación, la distorsión de segundo orden y la "*composite triple beat*". Las demás intermodulaciones, no están en fase coherente, o su efecto es similar al ruido por lo que no se consideran.

### 4. Crosmodulación (X-MOD)

Una forma de distorsión de tercer orden es la superposición de la información modulada de una señal de RF a otra es la crosmodulación. La crosmodulación (X-MOD) se define como la razón, expresada en decibeles, entre la señal de interferencia y la información de video deseada que son moduladas por la misma portadora. Esta relación, es generalmente expresada en decibeles negativos, y algunas veces en porcentaje.

En un amplificador, la crosmodulación es mayor cuanto mayor es el nivel de salida del mismo, contrariamente con lo que sucede con la relación C/N la cual disminuye cuando aumenta el nivel de salida.

Los niveles de crosmodulación aceptados por la industria para un sistema, son de -51dB a -53 dB. Para calcular los niveles de la crosmodulación de un sistema se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{X-Mod (A)} = \text{X-Mod (1)} + 20 \text{Log}_{10} (\text{A}) \quad (\text{Ec. IV.9})$$

Donde A es el número de amplificadores en cascada y X-Mod (1) es el nivel de crosmodulación.

### 5. Distorsión de Segundo Orden ( $F_1 \pm F_2$ )

Cuando más de una señal es pasada a través de un amplificador, a la salida del mismo se incluyen nuevas señales que no estaban presentes a la entrada del mismo. La Distorsión de Segundo Orden causada por la no linealidad de los amplificadores, consiste en las nuevas señales formadas por la suma de las dos señales originales ( $f_1 + f_2$ ) o la nueva señal formada por la diferencia de las mismas ( $f_1 - f_2$ ). Si una o ambas de estas nuevas señales llamadas *second order beats*, resultan en la frecuencia de una portadora de vídeo, pueden interferir a la misma.

Los niveles de distorsión de segundo orden aceptados para un sistema de televisión por cable son de -53dB o menor. Para calcular los niveles de la distorsión de segundo orden de un sistema se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{2nd Ord (A)} = \text{2nd Ord (1)} + 20 \text{Log}_{10} (\text{A}) \quad (\text{Ec. IV.10})$$

Donde A es el numero de amplificadores en cascada y 2nd Ord(1) es el nivel de distorsión de segundo orden de un amplificador.

## 6. Composite Triple Beat (CTB)

Una forma diferente de distorsión es llamada “*Triple Beat*”, y son señales terciarias que genera un amplificador cuando tres o mas portadoras son pasadas por un amplificador. La señal conocida como composite triple beat es la suma o diferencia del producto de cualesquiera tres portadoras de señal. El nivel máximo aceptado para un sistema es una CTB de -53dB o menos. Para calcular los niveles de la composite triple beat de un sistema se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Comp 3-B (A)} = \text{Comp 3-B (1)} + 20 \text{Log}_{10} (A) \quad (\text{Ec. IV.11})$$

Donde A es el numero de amplificadores en cascada y Comp 3-B(1) es el nivel de la composite triple beat de un amplificador.

Cualquier intermodulación de -51 a -43 dB es imperceptible para la vista de un individuo, una intermodulación del orden de -37 a -43 dB es perceptible únicamente por el ojo de un individuo que conozca cómo funcionan. De -30 a -37 es perceptible pero no afecta mucho, cuando una intermodulación tiene un nivel de -30 o mayor sus efectos si son molestos, causando mallas, líneas diagonales o batidos de color.

## V. EQUIPOS DE AMPLIFICACION

### A. Definición

En un sistema de cable, existen pérdidas de señal a través de los cables coaxiales. Estas pérdidas de señal se deben de compensar. Para ello se necesitan amplificadores que regeneren la señal. Un amplificador recibe un nivel bajo de señal y lo aumenta a un nivel alto en su salida, este aumento de señal, significa introducción de ruido y distorsión en las señales, la cual va en aumento conforme aumenta el numero de amplificadores (“*cascada*”).

Los amplificadores necesitan para su funcionamiento, de una fuente de energía que los alimente, en el caso de los amplificadores de cable estos trabajan con voltaje AC el cual se conduce a través del cable coaxial. Las fuentes de poder para los sistemas de cable trabajan a 60 Voltios y transmiten una onda cuadrada para tener una transmisión de potencia más eficiente.

### B. Ecualización

Las señales en el cable, pierden distinto nivel de potencia dependiendo de la frecuencia. Pero los amplificadores aumentan el nivel de las mismas, de igual manera, no importando su frecuencia, por lo cual para mantener el sistema “*balanceado*”, es decir, que no se vaya volviendo cada vez mayor la diferencia entre las frecuencias altas y las frecuencias bajas, es necesario “*ecualizar*”. En la televisión por cable, ecualizar significa atenuar ciertas frecuencias para llevarlas a niveles deseados. Normalmente los ecualizadores tienen dos parámetros, el nivel de ecualización (EQ) y la frecuencia máxima ( $f_0$ ). Por ejemplo, un ecualizador de 24 dB y 400 MHz, significa que atenúa a cualquier frecuencia la diferencia entre lo que pierde el cable a 400 MHz y dicha frecuencia, en un tramo de cable donde la frecuencia de 400 MHz pierde 24 dB.

De manera tal que si todas las frecuencias salieron de un amplificador con el mismo nivel, al recorrer un tramo de cable y luego pasar por el ecualizador, van a estar nuevamente al mismo nivel. La atenuación que da un ecualizador está dada por la siguiente ecuación:

$$L_{eq}(f) = EQ - ((EQ) * (f/f_0)^{1/2}) \quad (Ec. V.I)$$

EQ = valor de ecualizador en dB

$f_0$  = frecuencia máxima del ecualizador

$f$  = frecuencia a calcular

### C. Amplificadores

Se denomina amplificador, a un equipo al cual ingresa cierta potencia de señal y dentro del mismo hay un aumento de dicha potencia y en la salida se tiene un nivel mayor de potencia.

#### 1. Amplificador Troncal Básico

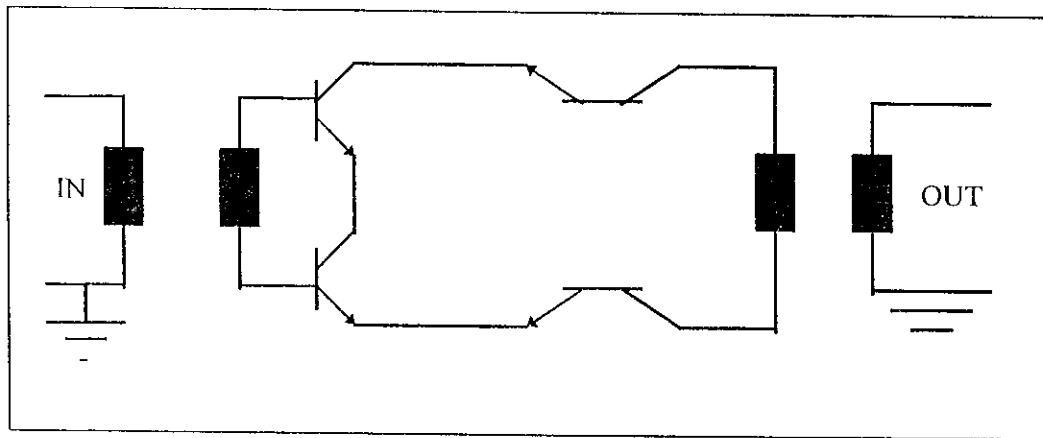
Un amplificador troncal básico de cable, tiene en su entrada un acoplador que separa la señal de RF de la señal de AC. La señal de RF pasa por un atenuador, este sirve para bajar el nivel de la señal de entrada y por un ecualizador el cual sirve para bajar el nivel de las frecuencias bajas, las cuales tienen una menor pérdida en el cable que las señales de frecuencias altas. Estos dos ajustes, sirven para llevar la señal a niveles de trabajo deseados. Luego de esta etapa, se entra al amplificador de RF (amplificador troncal) que es el que aumenta el nivel de la señal. A la salida del amplificador de RF existe un acoplador (derivador) el cual deriva una porción de la señal, hacia un amplificador secundario de RF (*Bridger*). Este amplificador secundario tiene su salida hacia un alimentador (*Feeder maker*), el cual normalmente tiene de 1 a 4 salidas las cuales llevan la señal a líneas de distribución (*ver Gráfica 5.1*).


Un amplificador troncal tiene una ganancia de 22 decibeles hasta 30 decibeles dependiendo el tipo de tecnología que utilice. Los tipos de amplificadores o tecnologías, se agrupan en 3, los tipo Push Pull, los Parallel Hybrid y los Feedforward.

Los "push-pull" normalmente tienen niveles de amplificación del orden 22 dB. En estos amplificadores, se reducen las crosmodulaciones de segundo orden, por lo cual su salida es bastante buena permitiendo mantener la calidad llegando a colocar hasta 20 en cascada.

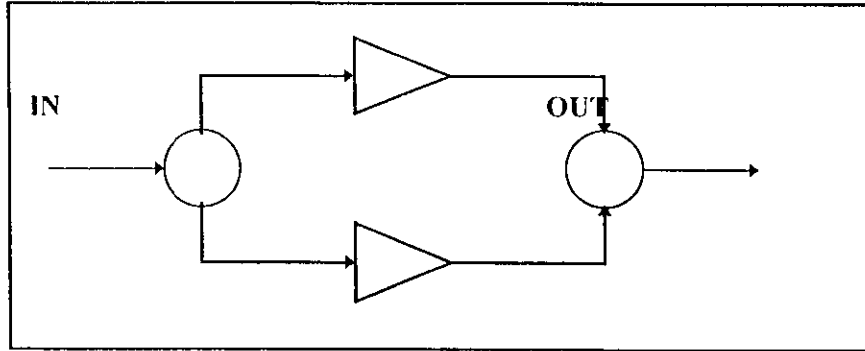
GRAFICA 5.1

Diagrama de un Amplificador Push-Pull



bobina = 

Existen también los Híbridos Paralelo, los cuales trabajan como los push-pull, con la diferencia que son dos etapas push-pull, las cuales se suman obteniéndose el doble de potencia que en un push-pull (+3 dB).

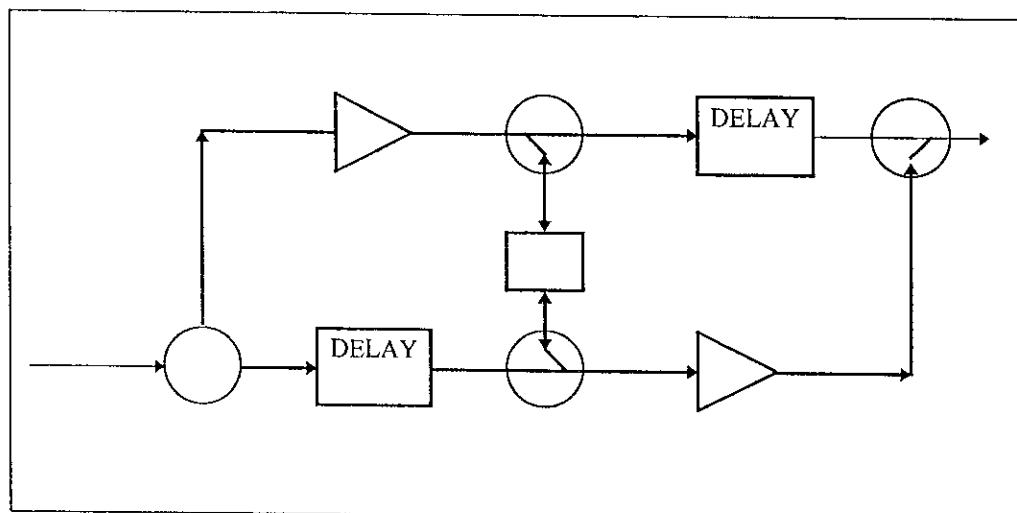
**GRAFICA 5.2****Diagrama de un amplificador Híbrido Paralelo**

Las tecnologías “*Feedforward*” son las que pueden manejar mayores niveles, del orden de 26 a 30 dB. Para lograr esto efectúan un retardo con el cual se muestrean las distorsiones y crosmodulaciones y se suman a la salida de manera tal que se eliminan en gran parte, teniéndose así, a pesar de tener una mayor potencia, un nivel de crosmodulación y distorsión similar al de un push-pull, la desventaja de los feedforward respecto a los push-pull es que por su mayor complejidad su costo es mayor, de manera que un módulo troncal feedforward cuesta el doble o más que uno Push-pull.

No importando el tipo de tecnología que se utilice, el nivel de salida óptimo para un amplificador troncal es del orden de 32 a 33 dB, aunque se puede trabajar en niveles aceptables de 30 a 38 decibeles. Cuando la señal es menor de 30 decibeles, la relación señal a ruido se ve deteriorada, mientras que en el caso contrario cuando es mayor de 38 decibeles la señal se satura debido a que los transistores internos del amplificador entran en saturación.

### GRAFICA 5.3

Diagrama de un amplificador Feedforward

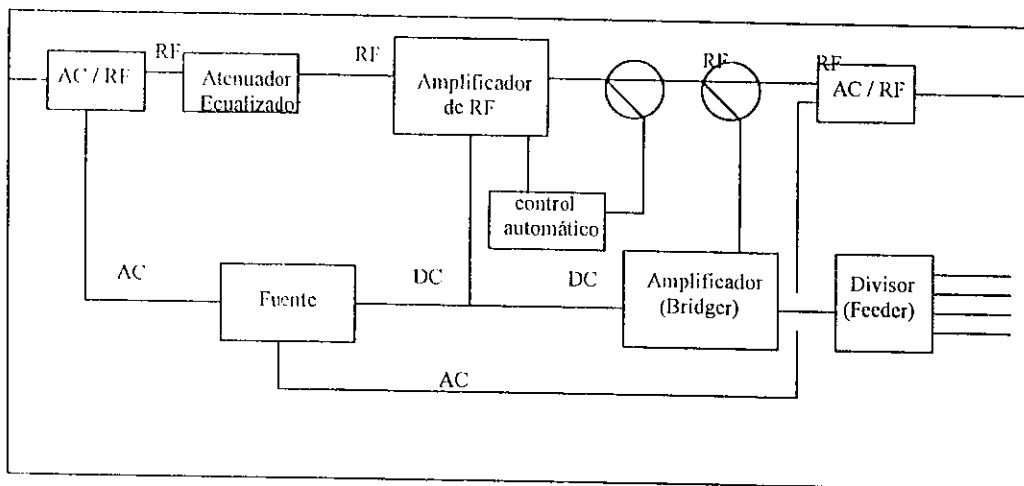


El modulo de “*Bridger*” es alimentado a través de un acoplador de 16 dB y tiene una ganancia de 26 dB a 32 dB dependiendo del modelo, el nivel de salida óptimo de un bridger es del orden de 44 decibeles, pero por ser un amplificador que va hacia distribución debe salir con diferentes niveles para las frecuencias altas y bajas, de manera tal que por pérdidas en el cable, se equiparen las misma, un nivel de salida de 40 a 48 decibeles es adecuado en un bridger.

A la salida del amplificador de RF existe un acoplador, el cual muestrea la señal de RF la cual es procesada en un módulo de control el cual comparando voltajes, regula la ganancia del módulo del amplificador de RF, los sistemas de control automático, son importantes en líneas con muchos amplificadores, pues cuanto mayor es la distancia que recorre una señal de RF, mayor es el efecto que sufre en variaciones de niveles provocadas por cambios en la atenuación del cable coaxial debido a efecto de la temperatura.

## GRAFICA 5.4

Diagrama esquemático con el detalle de cada módulo de un amplificador Troncal Básico



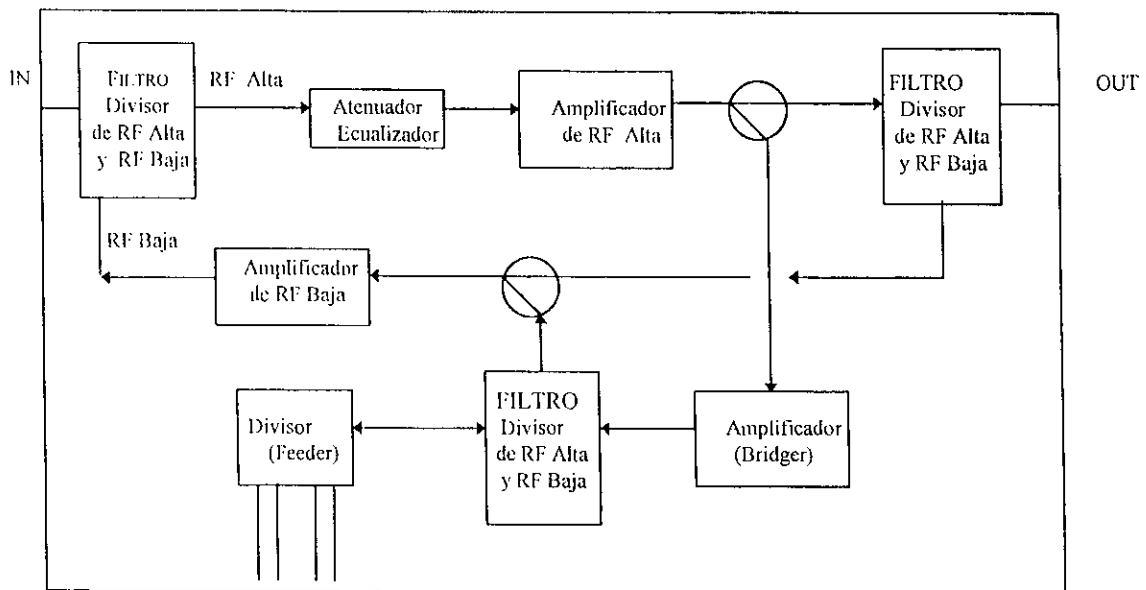
Todos los amplificadores profesionales para CATV en la actualidad están provistos para funcionar en dos vías. Esto significa que se utiliza una parte del espectro 50-450 (550, 750, etc.) para transmitir las señales directas y normalmente la parte baja 5-50 MHz, para transmitir señales en vía contraria. Esto lo único que requiere adicional en los amplificadores son filtros que separen ambas bandas de manera tal que se amplifiquen por separado.

Las señales de retorno entran por la salida normal del amplificador. Son separadas por un filtro diplexor, el cual separa las dos bandas, pasa por un acoplador, el cual une la señal que viene del troncal con cualquier otra señal de retorno que pueda venir de los bridgers y las ingresa al amplificador. Cada una de las dos señales tiene un atenuador, de manera que se puedan ajustar a un nivel tal que las dos entren con niveles muy similares al amplificador. Entonces son combinadas y amplificadas, de nuevo son introducidas a un filtro diplexor y enviadas por la entrada al siguiente amplificador.

Cuando la vía de retorno requiere un ancho de banda mayor, se tienen que utilizar amplificadores especiales los cuales sacrifican parte de la banda baja o hasta la banda media para utilizarla como vía de retorno. Los valores estándares para vía de retorno son: 5-30 Mhz standard de banda baja para vía de retorno (*low split distribution*), 5-50 MHz banda baja expandida para vía de retorno (*expanded low split distribution*), 5-112 MHz banda baja y VHF baja para vía de retorno (*mid split distribution*), 5-174 MHz banda baja y banda media para vía de retorno (*high-split distribution*).

GRAFICA 5.5

Diagrama esquemático de un amplificador troncal con vía de retorno (doble vía)



## 2. Amplificador Line Extender

Un amplificador line extender, es muy similar en su concepto a un amplificador troncal. Su diferencia básica, es que sacrifica calidad en su relación señal ruido a cambio de obtener un mayor ganancia a la vez de ser mas barato. Su construcción, es similar al troncal básico. Tiene en su entrada un acoplador que separa la señal de RF de la señal de AC.

La señal de RF pasa por un atenuador y por un ecualizador, los cuales sirven para ajustar la señal a niveles de trabajo deseados. Luego entra al "chip" amplificador de RF, que es el que aumenta el nivel de la señal. En esta parte, es donde existe la mayor diferencia entre un amplificador line extender y un amplificador troncal, ya que la tecnología del chip amplificador es de menor calidad y normalmente tiene niveles mayores al troncal del orden de 30 a 40 decibeles de ganancia.

El line extender a diferencia del troncal no posee bridger, ya que su salida va directamente a líneas de distribución, por lo que no es necesario. Al igual que los amplificadores troncales, los line extender están preparados para trabajar en doble vía. La figura de ruido de los line extender es del orden de 3 decibeles mayor que la de un amplificador troncal y su crosmodulación es del orden de 3 decibeles mas pobre que la de un amplificador troncal.

## 3. Amplificador de Distribución Interna

Existen amplificadores de menor calidad, los cuales sirven únicamente para amplificar la señal de vídeo en una casa. Estos son los amplificadores de distribución interna. Son muy utilizados en Guatemala (de manera inadecuada) como amplificadores troncales, o sea como amplificadores de línea principal.

Dentro de los modelos más comunes existentes en Guatemala, se encuentran los CA-30, MCM-55, MCM-20, TA-25, etc. todos ellos amplificadores que no poseen ninguna vía de retorno, ningún módulo de control termal y tampoco pueden recibir la alimentación de AC a través del cable coaxial.

Los amplificadores de distribución, tienen una figura de ruido del orden de 3 decibeles mayor que la de un amplificador troncal en el caso de los CA-30 y de alrededor de 5 a 6 decibeles en el caso de los MCM-10, MCM-20 Y MCM-55, además de tener entradas para cable de distribución y no para cable troncal.

Los amplificadores de distribución, por no poseer vía de retorno, hacen que en un sistema que los utiliza como amplificadores troncales, no se pueda tener doble vía. El no tener compensadores termales, ni controles automáticos, además de su alto nivel de ruido, los hace no recomendables para colocarlos en cascada, pues las variaciones en temperatura en el cable, no las pueden compensar, además de que un sistema con varios de estos en cascada, presenta una relación señal a ruido bastante pobre.

Además de tener una relación señal a ruido pobre, los amplificadores CA-30 y MCM-55 son mas susceptibles a las intermodulaciones, debido a que no poseen una coraza aisladora como es el caso de un amplificador troncal. Su X-MOD es alrededor de 3 dB mas pobre en el caso de los CA-30 y 5 dB en el caso de los MCM-55. A lo anterior, hay que sumarle que son mas susceptibles a las interferencias de las señales externas, o sea de las ondas de radio-frecuencia.



## VI. DISEÑO DE SISTEMAS CATV

Todo sistema de cable, debe iniciar su diseño, con el diseño de la planta de transmisión para determinar así el ancho de banda a transmitir, al inicio de la construcción de la red troncal no es necesario que se ocupe todo el ancho de banda diseñado. Es decir, no es necesario que se transmitan todos los canales que se han planificado transmitir. Pero sí es importante tener canales pilotos en las últimas frecuencias que se ha planeado transmitir. Por ejemplo, si va a ser un sistema de 45 canales, y al inicio solo se tiene equipo para 22 canales en la planta; se debe tener por lo menos, un canal piloto en el canal 45 para que al momento de construir la línea troncal, se pueda calibrar correctamente el sistema. De esta manera, se puede determinar si la red funciona en todo el ancho de banda planificado.

En la actualidad, los sistemas se deben diseñar a 550 MHz como mínimo para poder tener suficiente ancho de banda como para transmitir servicios adicionales a la transmisión de video. Se debe diseñar de preferencia a 750 MHz o a 1 GHz. En Guatemala, por motivos económicos, no se pueden aplicar los estándares americanos, pero sí se debe considerar al diseñar las redes, un ancho de banda de 450 a 550 MHz, porque de lo contrario, no se pueden ofrecer servicios adicionales que son el futuro.

### A. Diseño de Líneas Troncales

Todo red de cable debe partir de una base, esta base la constituye la línea troncal, por lo que primero habrá de efectuarse el diseño de la red troncal. Cuando se va a diseñar una red de cable, hay que tener presentes dos puntos primordiales, primero el ancho de banda al que se desea diseñar y segundo, el área de cobertura que se va a tener.

Con estos dos puntos ya fijados, se puede empezar el diseño de la troncal. Lo primero es definir la ruta o rutas de la línea troncal. Ya con la ruta de la línea troncal definida, se puede empezar a diseñar la red de distribución.

Cuando se define el ancho de banda (300, 400, 450, 550, 600, 750 MHz o 1 GHz), se debe diseñar de manera tal, que los amplificadores queden separados 22 dB. El valor 22 dB es porque un amplificador troncal standard amplifica como mínimo 22 dB. La separación de 22 dB significa que es lo que pierde la frecuencia más alta en un tramo de cable de dicha longitud. Normalmente, se usa como standard de diseño el cable RG-500, por lo que se puede tener la siguiente tabla de distancias.

**TABLA 6.1**  
**Distancia de diseño y distancia máxima entre Amplificadores troncales**  
**dependiendo de la frecuencia de Diseño**

NUMERO CANALES	FRECUENCIA DE DISEÑO (MHz)	DISTANCIA MAXIMA (Metros)	DISTANCIA DE DISEÑO (Metros)
22	216	619	600
36	300	511	500
45	350	482	470
53	400	449	440
62	450	421	400
79	550	378	370
79+200	750	319	300
79+400	1000	272	260

Los valores de frecuencias colocados en la tabla, son los que usan los fabricantes para sus distintos modelos de amplificadores troncales, ya que la mayoría de fabricantes de amplificadores, los hacen en modelos que van cambiando en dicho orden de frecuencias (300, 330, 400, 450, 550, 750 MHz, 1 GHz).

Cuando la línea troncal va a ser dividida, se debe restar a la distancia de diseño entre amplificadores, la atenuación que produce la inserción de un componente pasivo en la línea. Por ejemplo, si se coloca en una línea troncal un divisor de dos salidas (*splitter 2-way*), se debe disminuir a la distancia de diseño el equivalente a la pérdida de inserción del pasivo. En este caso, 4 dB, si la frecuencia de diseño es 300 Mhz serán 95 metros, si es 400 Mhz serán 80m, si es 450 Mhz serán 75 metros, etc.

La línea troncal, es la base de un sistema de cable. De su calidad de diseño dependerá mucho su funcionamiento y por consiguiente el funcionamiento del sistema. Las líneas troncales, deben diseñarse de manera que lleven la menor cantidad de cortes intermedios, lo cual significa menores fuentes de ruido. Una línea troncal, debe tener la mayor estabilidad posible, así como la menor cantidad de fuentes de ruido adicionales a los amplificadores.

En una línea troncal, se debe considerar no solo el nivel de ruido, sino también, la cantidad de fuentes de problemas; pues lo que importa es que el sistema como un todo funcione de la mejor manera posible. Por ello, se debe procurar no diseñar líneas con cascadas mayores de 6 amplificadores troncales. Aunque esto no significa que no se puedan construir líneas de hasta 8 en cascada, dependiendo de la marca y modelo de amplificador.

Cuando las redes van a tener que recorrer distancias que requieran más de 8 amplificadores en cascada, es necesario cambiar a enlaces con fibra óptica para evitar cascadas grandes y garantizar así la calidad de la señal. (*ver sec. VII.B*)

La cascada máxima, la determina el tipo de amplificador a utilizar y el nivel de calidad C/N que se le quiere dar al sistema. El S/N debe de ser mayor a 39 dB en el aparato receptor de cualquier abonado al que se le brinde el servicio, lo que implica que el mínimo de calidad C/N deberá ser 43 dB, que es el estándar fijado como mínimo tanto por la FCC como por la TASO para sistemas de CATV.

Teniendo fijado el nivel mínimo de calidad de señal, se debe determinar con el tipo de amplificador utilizado, cuál es la cascada máxima con la que se puede trabajar sin llegar abajo del mínimo de C/N. Para ello hay que aplicar las consideraciones de cuantos line extenders es el máximo a aceptar en cascada para así al considerar el C/N del sistema se haga como un todo. Esto significa que se debe sumar logarítmicamente el ruido del troncal, mas el del bridger, mas el del line extender para determinar así el ruido total del sistema. Para ello, se deben hacer cálculos por separado del C/N de cada parte (*ver ecuación VI.1*).

$$C/N_{(\text{sistema})} = -10 \log_{10} (10^{-\text{dB}(\text{TK})/10} + 10^{-\text{dB}(\text{Br})/10} + 10^{-\text{dB}(\text{LE})/10}) \quad (\text{Ec. VI.1})$$

Ya determinado el número de amplificadores máximo que permite el sistema para mantener su calidad, se deben de determinar los niveles tanto de entrada como de salida, que deben manejar los amplificadores, los cuales estan determinados por la siguiente ecuación.

$$IN(\text{dB}) = C/N + N_t + N_f + 10 \log_{10} N \quad (\text{Ec. VI.2})$$

Donde: C/N (Carrier to Noise del sistema  $\geq 43\text{dB}$ )

$N_t$  (Ruido termal  $-59.1$ )

$N_f$  (Figura de ruido del amplificador)

$N$  (Número de amplificadores en cascada)

La diferencia para calcular el nivel de entrada mínimo para los line extenders, es que se debe considerar en lugar del ruido termal el C/N obtenido a la salida del amplificador troncal, o simplemente hacer una suma logarítmica de la contribución de ruido de cada etapa. Para determinar el nivel de salida de los amplificadores troncales, no solo es necesario considerar la relación C/N, sino que también es importante considerar el nivel de crosmodulación que se desea tenga el sistema para así obtener la mayor calidad de vídeo posible. Lo que se obtiene es el nivel promedio de salida que deben de tener todos los canales en el amplificador.

$$L_o = L_r + \frac{(X-Mod)_c - (X-Mod)_r - 20 \log N}{4} + \frac{(C/N)_c + N_t + N_f + G - L_r + 10 \log N}{2} \quad (Ec. VI.3)$$

Donde:  $(X-Mod)_r$  = Crosmodulación de los amplificadores (-dB)

$(X-Mod)_c$  = El nivel de crosmodulación mínimo deseado (-dB)

$(C/N)_c$  = El C/N mínimo deseado para el sistema

$N_t$  = Ruido termal (-59.21 dB 68°F, 75 Ohm, 4 MHz BW)

$G$  = Ganancia operacional del amplificador

$L_r$  = Nivel promedio de salida del amplificador

$N$  = Número de amplificadores en cascada

$L_o$  = Nivel de salida que debe de tener para obtener la X-Mod y C/N deseada.

El primer término de la ecuación VI.3 es el determinado por la crosmodulación. Este término, es positivo y va disminuyendo conforme aumenta el número de amplificadores en cascada. El segundo termino, está determinado por la relación C/N y es negativo y se va acercando a cero conforme aumenta la cascada. Cuando alguno de estos dos términos cambia de signo, es muestra de que se excedió la cascada máxima, lo cual es fácilmente comprobable con las ecuaciones VI.1 y VI.2.

Al determinar la ruta troncal, es necesario determinar cómo va a ser la *geografía* del cable. Esto indica como se va a instalar el cable, de manera aérea o subterránea. Lo mejor es que el cable vaya de manera subterránea, ya que de esta forma, no se tienen efectos de temperatura. En este caso en la cascada de amplificadores se debe colocar un amplificador en modo automático y otro en modo manual, intercalados entre sí, para garantizar la estabilidad del sistema.

Como muchas veces, por razones fuera del alcance de las empresas, no se puede efectuar canalización para poder hacer subterránea la línea troncal, teniendo entonces que construir aérea, es necesario e indispensable que los amplificadores troncales tengan un compensador termal, para así mantener al sistema, lo mas estable posible, en este caso se debe colocar un amplificador en termal y otro en automático, intercalados.

En una línea troncal, la razón de mayor peso para que se prefiera que sea subterránea en lugar de aérea es la estabilidad por temperatura, ya que aunque se tengan compensadores termales, la red siempre tendrá menos estabilidad al tener una troncal aérea que una troncal subterránea.

Lo mismo sucede en el caso de líneas secundarias, en donde existan *line extenders*. Es preferible que sean subterráneas, aunque en estos casos como la cascada no debe ser de mas de dos amplificadores el problema no es tan relevante. En el caso de las distribuciones, no es necesario que la línea sea subterránea, ya que las distancias que se manejan son cortas y como no es recomendable que existan etapas de amplificación, no existen problemas por variaciones de temperatura. Al contrario en las distribuciones por razones de costo, es mejor construir las redes de manera que las distribuciones sean áreas.

## **B. Diseño de Líneas de Distribución**

Ya cuando se ha fijado la ruta de la línea troncal, se debe diseñar la línea de distribución. Para ello, se debe fijar el nivel de señal, que se va a dejar a cada salida, de los derivadores y luego, el tipo de diseño que se va a efectuar. Se pueden considerar dos clases o tipos de diseño:

**Total:** que significa dejar una salida de “Tap” para cada casa pasada.

**Parcial:** que significa determinar un número promedio de casas que se calcula tomarán el servicio de CATV y luego diseñar de manera que satisfaga la demanda de servicio proyectada.

Cada tipo de diseño, tiene sus pro y contras. En el primero, se tienen cubiertos todos los posibles clientes, por lo que es el mas seguro. Pero tiene la desventaja de que es más caro por lo mismo, ya que se necesitan más componentes de derivación y por consiguiente, mayor nivel de señal, en el segundo, se tiene un ahorro en componentes pero para que sea eficiente se debe tener un cálculo real de cuantas personas van a tener el servicio. Tiene la desventaja de que si la cobertura pasa mas allá de lo planificado habran problemas de nivel de señal.

En Guatemala, en la mayoría de áreas la penetración puede llegar a ser superior al 60%; por lo que es recomendable utilizar el sistema de diseño total. Además, en este tipo de diseño, se puede ahorrar algo de dinero, no colocando todos los derivadores al inicio de la construcción de la red, sino que irlos colocando conforme van surgiendo los suscriptores que van pidiendo el servicio.

El nivel mínimo de salida en los taps, debe fijarse normalmente en un rango de 5 a 15 decibeles. Esto debe estar determinado por el tamaño de las casas por las que pasa la red y por la cantidad de salidas que se tiene calculado puede tener cada casa.

Cuando ya se tiene fijado el nivel mínimo, se deben de marcar la rutas de las líneas de distribución. Estas rutas, deben hacerse a manera de estrella, de manera que así la potencia que salga de cada amplificador, se pueda aprovechar mejor, además que así cada línea de “taps” no será muy larga. Esto permite una mayor estabilidad al sistema, al tener menores fuentes de problema para cada suscriptor.

En las distribuciones, es normal que los bridgers que salgan de la línea troncal, no tengan suficiente potencia para distribuir señal a toda el área cubierta, por lo cual es necesario utilizar amplificadores *line extenders*. En un inicio, se acostumbraba colocar amplificadores *line extenders* luego de una línea de taps, pero en la actualidad, siempre buscando disminuir las posibilidades de fallas, los *line extenders* deben ser alimentados con líneas limpias saliendo del bridger de un troncal.

Algunas veces, dependiendo de la geografía de las áreas en donde se va a construir la red de cable, es común que aun saliendo en estrella de un troncal y colocando *line extenders* alrededor del mismo, exista la necesidad de colocar más de un *line extender* en cascada. Esto debe evitarse hasta donde sea posible. La manera en que esto se hace, es construyendo subtroneales, o dejando en ultimo caso, *un line extender* en cascada, luego de otro, pero nunca debe de dejarse mas de dos *line extenders* en cascada, ya que allí se está perdiendo no sólo calidad de señal, sino estabilidad en el sistema.

Cuando una distribución es lo suficientemente grande como para requerir más de dos *line extenders*, es necesario construir una subtroncal, la cual consiste en amplificadores troncales conectados en cascada a la salida del bridger de un amplificador de la línea troncal. Las subtroneales deben tener de 1 a 3 troncales en cascada; pues cuando ya es una línea que va a tener mas de 3 troncales en cascada, lo que debe hacerse es dividir la línea troncal.

Para calcular el valor del Tap a utilizar, se deben calcular las pérdidas que tiene la señal en cada tramo de cable, de manera que a la salida del tap se tenga el mínimo de diseño establecido. Los taps tienen su valor, dependiendo de la cantidad de señal que atenúan en sus salidas de derivación. Pero también tienen una pérdida de inserción. Cuanto menor es la pérdida en su derivación, mayor es la pérdida de inserción (ver tabla 6.2). Existen taps de 1, 2, 4 y 8 salidas.

**TABLA 6.2**

**Valores típicos de Taps de 2 Salidas y su pérdida por inserción en decibeles**

VALOR DEL TAP	PERDIDA INSERCIÓN 50 MHz - 550 Mhz		PERDIDA SALIDA
32	0.3	0.8	32
29	0.3	0.8	29
26	0.3	0.8	26
23	0.4	0.9	23
20	0.4	0.9	20.5
17	0.5	1.1	17
14	0.9	1.4	14
11	1.5	2.2	11
8	3.1	3.5	8.5
4	TERMINAL		4

Cuando se calcula una línea, se debe llegar hasta el punto en donde el tap es un tap terminal. Mas allá de este, no se puede pasar, porque ya no hay señal. Es recomendable diseñar en estrella, aun las distribuciones, ya que así se aprovecha más las señal y se tiene menos taps en cascada, la cual significa menor probabilidad de falla para los últimos suscriptores. Por ello saliendo de un *bridger*, no siempre alcanza para cubrir toda un área y se hace necesario colocar line extenders.

### **C. Consideraciones Técnicas Necesarias para cumplir con el Mínimo de Calidad (S/N) según la TASO en las redes de CATV existentes en Guatemala**

En Guatemala, el problema básico de la mayoría de redes es que no tienen diseño, únicamente se diseña la línea troncal y lo demás se construye como va requiriendo la demanda de servicio y en algunos casos ni siquiera la línea troncal ha sido diseñada. Unicamente se ha construido siguiendo a la demanda de servicio. El primer paso para mejorar la calidad de señal, es tener líneas troncales que cumplan con los conceptos de diseño, básicamente en tres puntos. Primero, uso de amplificadores troncales y cable troncal en las líneas troncales. Segundo, mantener distancias de diseño y tercero, construir líneas troncales de manera que no queden amplificadores CA-30, MCM-55, en cascada; ni líneas hacia amplificadores con cable RG-6.

El tener una verdadera línea troncal es imprescindible, para la estabilidad del sistema y para lograr llegar a los estándares de calidad deseados. Para ello, lo primero que debe hacerse es fijar una ruta de línea troncal y construirla con cable troncal ya sea RG-500, 750, etc. Ya fijada la ruta de la línea troncal, se deben decidir los niveles con que se va a trabajar la señal, a nivel de línea troncal. Lo ideal, es trabajar la señal con un nivel idéntico en todos los canales, y el nivel debe ser el que recomienda el fabricante (la mayoría trabaja con 32 o 33 dB) como nivel de salida.

Cuanto mayor es la cascada que se va a manejar, más difícil es utilizar un nivel similar en todos los canales, ya que el cable coaxial siempre es más susceptible a sufrir pérdidas o variaciones en las frecuencias altas. Es recomendable utilizar un “tilt” (diferencia entre el nivel de salida de la frecuencia más alta respecto a la frecuencia más baja) del orden de 3 a 5 dB. En este caso, es recomendable trabajar el canal 2 alrededor de 31 a 32 dB y el canal más alto alrededor de 35 dB (en redes donde hay 30 a 45). Cuando son mas canales (de 45 canales) el tilt se puede hacer alrededor de 36 o 37 dB. La razón de utilizar el “Tilt” es para poder mantener las frecuencias altas arriba del nivel de ruido cuando existan pequeños problemas que las afecten y para garantizar que en los amplificadores 30 y 55 que existan aun en las redes, se mantengan las frecuencias altas.

Ya fijado el nivel de trabajo de los amplificadores y el tilt a aplicar, se debe estandarizar de manera que todos los amplificadores trabajen lo más próximo posible a los niveles fijados. Luego de fijados los niveles de troncal se deben fijar los niveles de los *bridgers*. en estos es necesario que exista tilt ya que van hacia distribuciones y como las frecuencias altas pierden mayor nivel que las frecuencias bajas, es indispensable que en la salida del *bridger* las frecuencias altas tengan mayor nivel que las frecuencias bajas de manera tal que al ingresar a la casa del suscriptor la señal esté en niveles adecuados en todas las frecuencias.

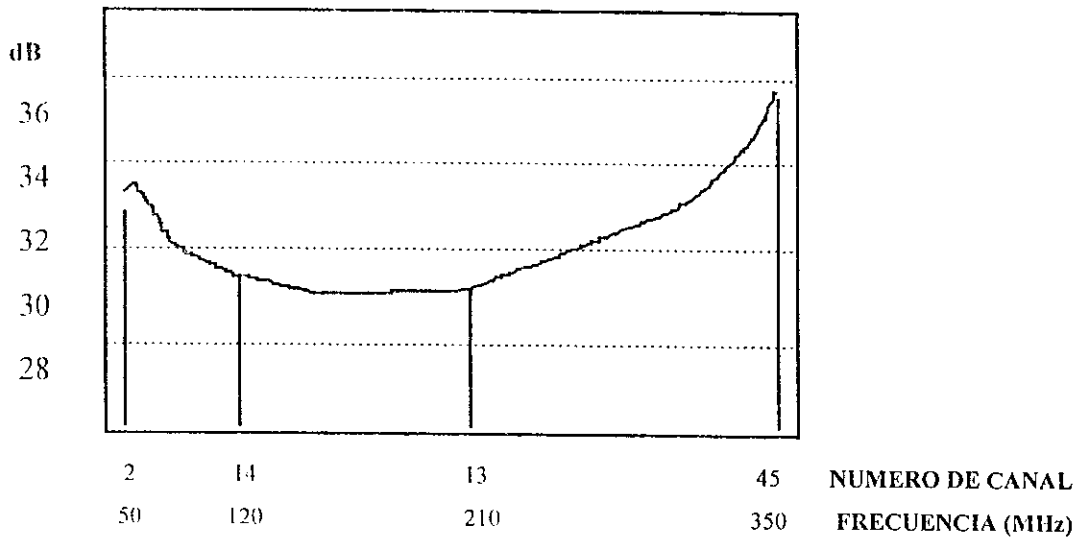
En Guatemala, se debe utilizar tilt lineal únicamente en redes de menos de 22 canales. En redes de mas de 22 canales, el tilt no debe de ser lineal, sino que se debe hacer una mayor atenuación en las frecuencias de la banda media y la banda VHF alta. La razón de ello, es lograr una curva con una hiperbanda en mayor crecimiento, pues en los amplificadores CA-30 y MCM-55 sólo se puede atenuar los canales de VHF baja, mientras que los canales de la banda media y alta, no se pueden atenuar lo suficiente, lo que provoca una desceualización entre las frecuencias de hiperbanda con las frecuencias de banda media y alta.

Al tener una diferencia mayor entre la banda media y alta respecto a la hiperbanda, este problema se logra contrarrestar (Ver Gráfica 6.1).

**GRAFICA 6.1**

**Curva de niveles para Amplificadores  
Troncales en las redes de CATV de Guatemala**

NIVEL SEÑAL



En los *bridgers*, el tilt debe ser del orden de los 8 a 10 dB por lo que lo regular es que la frecuencia baja tenga alrededor de 40 dB y la frecuencia más alta alrededor de 48 a 50 dB. Esto último, dependiendo del número de canales (48 para mas de 45 canales y 50 para menos de 45) pues cuanto mayor es el número de canales, mayor es la potencia que se maneja y por consiguiente para evitar saturación menor debe ser el nivel de salida.

El problema de desecualización en amplificadores CA-30 y MCM-55 se vuelve mayor conforme se aumenta el número de canales. Y por supuesto, también hay más problemas de desecualización cuando la cascada de CA-30 y MCM-55 es mayor.

Los *line extenders* no presentan este problema de desecualización, porque trabajan con ecualizadores, mientras que los CA-30 y MCM-55 no tienen lugar para los ecualizadores. Únicamente poseen un potenciómetro de "tilt" que básicamente afecta a la banda baja y parte de la banda media, el resto de frecuencias casi no las varía, por lo cual se crea desecualización en ellos.

Por último, si se considera el problema que tienen los CA-30 por no tener ecualizadores, se observa que la diferencia es mucho mayor. La razón de esto, es que la curva de señal tiende a sufrir un emparejamiento entre la banda media y la superbanda, lo cual hace que se trabaje con niveles bajos, tanto a la banda baja como a la superbanda; por lo cual su relación señal ruido sufre un deterioro aun mayor. Si se aumenta el nivel para mantener bien las frecuencias altas, se provoca saturación en la señal. Para evitarlo, se hace trabajar a las frecuencias bajas a niveles menores deteriorando así su relación señal ruido, a la vez que se van perdiendo las frecuencias altas ya que en cada etapa de la cascada van entrando con niveles más bajos, respecto a las demás frecuencias.

En los lugares en donde luego de construir la línea troncal aun se tengan mas de 2 CA-30 en cascada, es necesario construir subtroncales, utilizando siempre amplificadores troncales en las mismas de manera de interceptar las cascadas y volverlas máximo de 1 o 2.

Para consideraciones de S/N un CA-30 es muy similar a un line extender por lo que lo importante para la calidad de señal es que estén alimentados de un troncal por lo que se pueden lograr estándares aceptados aun utilizándolos en redes de distribución.

Lo que sí es importante en este caso, es que los amplificadores no queden conectados a través de cable tipo drop (RG-6, RG-11) porque esto le da poco aislamiento a la red, además de que por sus pérdidas, hace que la distancia entre amplificadores sea menor. Lo que se debe hacer en estos casos, es construir una línea con cable RG-500 hacia los amplificadores, aunque estos sigan siendo CA-30 o MCM-55.

En Guatemala es normal que al salir de un *Bridger*, se encuentren varios amplificadores CA-30 en cascada. Lo que se debe hacer en este caso, es construir líneas subtruncas a manera de evitar las cascadas de amplificadores CA-30, ya que teniendo 30's en cascada, la suma de ruido en cada etapa es muy grande, además que no permite mantener la curva de la señal, es decir empiezan a formarse variaciones en frecuencia. La más común, es que la banda media aumenta de nivel y la superbanda tiende a disminuir su nivel.

En la tabla 6.3 se presenta una comparación entre la calidad señal ruido entre utilizar amplificadores CA-30 y cable RG-6; respecto a Truncas y RG-500 para una red de 400 MHz.

**TABLA 6.3**

**Tabla comparativa entre las características de un amplificador CA-30 y un amplificador Truncal**

CARACTERISTICAS	TRUNK	CA-30
FIGURA DE RUIDO (dB)	10	8
GANANCIA (dB)	30	22
Entrada típica (dB)	10	8
RELACIÓN C/N (dB)	59	59

**TABLA 6.4**

**Tabla comparativa entre las características de  
el Cable RG-6 y el Cable RG-500**

CARACTERISTICAS	RG-6	RG-500
PERDIDA en dB/100m(400 MHz)	13	5
Variación en 1Km/10°C (50 MHz)	0.9	0.35
Variación en 1Km/10°C (400 MHz)	2.6	1

Basado en las tablas anteriores, se puede tener la distancia máxima entre amplificadores CA-30 usando RG-6 que sería 230 metros y entre amplificadores troncales usando RG-500 que sería 440 metros. Ya con ello, se puede hacer una tabla comparativa entre cómo reacciona una red de 2 Kilómetros, que es una distancia muy común en Guatemala, con amplificadores troncales y cable 500 respecto a una red con CA-30 y cable RG-6.

**TABLA 6.5**

**Comparación entre Amplificadores Troncales y amplificadores CA-30  
Considerando variaciones de Temperatura**

CARACTERISTICAS	TRUNK	CA-30
CASCADA (Numero amplificadores)	5	10
RELACIÓN C/N (dB)	52	49
VARIACIÓN SEÑAL EN 10°C (dB)	2	5.2
RELACIÓN C/N (Ajustada por temp) (dB)	<b>50</b>	<b>44</b>
VARIACIÓN POR ECUALIZACION (dB)	1	5
RELACIÓN C/N (Ajustada por EQ)	<b>50</b>	<b>39</b>

Como se observa claramente en la tabla anterior, una red con cable RG-6 tiene una relación señal a ruido muy inferior a una red con amplificadores troncales y cable RG-500. El problema se ve mucho mayor, cuando se consideran las variaciones por temperatura que sufre comúnmente una red entre el medio día y la noche, con el agregado de que el cable 500 se puede enterrar, con lo cual se evita el problema de variaciones con temperatura; mientras que el cable RG-6 no está fabricado para enterrarse, ni es económicamente rentable hacer la inversión de una canalización para enterrar cable RG-6.

Pero aún en líneas aéreas por efecto del sol, el tiempo de vida de un cable RG-500 por su misma fabricación, es de dos a 3 veces mayor que la vida de un cable RG-6; ya que posee una cubierta de aluminio y no papel aluminio como lo es en el caso del RG-6. De igual manera, la vida de un amplificador CA-30, es menor que la de un Line Extender, además de que un CA-30 utiliza alimentación de AC externa de 110 voltios, mientras que un Line extender o troncal recibe el voltaje a través del mismo cable 500, pues están fabricados para alimentarse con una onda cuadrada de 60 voltios, la cual se transmite a través del mismo cable 500.

Se observa claramente que en una línea de apenas 2 kilómetros, la calidad de la señal en la troncal es muy buena (49-50 dB); mientras que en una línea con CA-30 ya no se tiene ni el mínimo de calidad aceptado que es 43dB. Se tiene una relación de 39 dB, la cual al ojo humano es aceptable.

El problema principal de las redes en Guatemala, es que las cascadas de CA-30 no se tienen saliendo de la planta, sino que luego de haber pasado por varios troncales, ya que las redes en Guatemala son del orden de los 5 hasta 10 kilómetros y en algunos casos de hasta 20 kilómetros. Además, de que muchas veces ya en la planta de transmisión, no se tienen los niveles de C/N adecuados, lo cual hace a los sistemas mucho mas sensibles.

Un problema adicional que presentan los CA-30 y MCM-55 respecto a los Trunks y Line Extenders es que no poseen un aislamiento bueno, por lo cual son mucho mas susceptibles a interferencias por parte de cualquier onda de RF que se transmite por el espacio, con lo cual la calidad de señal es aun menor. Lo mismo sucede entre los cables tipo Drop y los cables troncales, los primeros por su estructura son también mas susceptibles a interferencias que los cables troncales.

Como una remodelación total de las redes, no es posible de la noche a la mañana, se debe tratar de ir reemplazando los CA-30 y MCM-55 existentes, por amplificadores *line extender* paulatinamente. La manera mas económica de hacerlo, es cada vez que se arruine un CA-30 o un MCM-55, en lugar de colocar un CA-30 nuevo, reemplazarlo por un *line extender*. De esta manera se van preparando la redes para la transmisión en doble vía, sin hacer inversiones adicionales.

Como se observa claramente en la tabla 6.6 ni por razones económicas es viable seguir usando líneas con cable RG-6 o con amplificadores no profesionales. Los costos iniciales hacen ver mayor el costo de las líneas troncales. Pero si se evalúa su vida promedio, vemos que el costo anual es muy similar y si a esto se suma el ahorro que se tiene en costos de mantenimiento. Al usar cable y amplificadores troncales las fallas se disminuyen. Se observa que a mediano plazo, es mucho más rentable el uso de accesorios troncales.

Estos datos fueron tomados del gasto de mantenimiento en redes de CATV pertenecientes a la empresa COMTECH S.A. en la ciudad de Guatemala. Los datos fueron tomados tanto en redes de distribución como de redes troncales.

TABLA 6.6

**Comparación de costos de mantenimiento para una red de CATV  
RG-6 versus RG-500**

TIPO MATERIAL	RG-6			RG-500		
	Año	Costo	Costo/Año	Años	Costo	Costo/Año
CABLE (1000 pies)	3	\$75	\$25	20	\$400	\$50
AMPLIFICADOR	1	\$120	\$120	7	\$750	\$107
TAP	2	\$1	\$0.50	5	\$8	\$1.60
CONECTOR	2	\$0.20	\$0.10	5	\$3	\$0.60

Ya cuando las líneas entre amplificadores funcionan adecuadamente, se deben efectuar cálculos de diseño en las líneas de distribución, para determinar si están entregando valores adecuados a los suscriptores. Muchas veces se puede lograr la relación señal/ruido adecuada en el amplificador. Pero llegar al suscriptor con niveles tan bajos que la relación señal ruido es pésima.

En Guatemala, como en las redes existentes, no se efectuó diseño, es común encontrar distribuciones en donde en unas partes se tienen niveles hasta de sobra y en otras se tiene falta de señal. Para ello, no necesariamente se debe tener que construir de nuevo todas las distribuciones y tener así que invertir mucho dinero. La forma mas económica es recalcular todos los ramales existentes, y reemplazar taps por los valores adecuados de manera que se garantice un nivel del orden de 5 a 15 dB para cada unidad habitacional.

Por ejemplo, en zonas como zona 15, 14, carretera al salvador, donde los terrenos y las casas son muy grandes, es recomendable utilizar un nivel de salida del orden de 15 dB. En zonas como las 12, 11, 7 donde las casas son menores con alrededor de 12 dB es suficiente. En áreas como la primero de julio, los proyectos de la zona 6, la zona 21, con niveles de alrededor de 5 dB es suficiente. Así se debe hacer en cada caso, ya sean las características de la colonia o área a diseñar o remodelar. Lo importante es que al aparato televisor se le ingrese con un nivel de alrededor de 0 dB (de -5 a 10 dB).

Si al recalcular las distribuciones, se observa que no se está cumpliendo con los niveles adecuados, es necesario agregar amplificadores. En este caso, lo mejor es reemplazar los CA-30 y MCM-55 que se tengan como amplificadores principales ya sea por troncales o line extenders según el caso y colocar los amplificadores CA-30 y o MCM-55 retirados de las líneas principales como los amplificadores adicionales.

Puede ser que a veces, en algunos ramales, sea suficiente reemplazar el cable RG-6 existente por cable RG-11, de manera que así ya se cumpla con los niveles mínimos. En cada caso, hay que evaluar qué es mas económico, si cambiar el cable o agregar un amplificador. Algo muy importante es considerar que todo lo que se construya de nuevo, tiene que hacerse basado en un diseño, ya que es mas barato construir una red buena que falla menos que una red mal hecha, la cual constantemente se tendrá que estar reparando.

#### **D. Expansión del Ancho de Banda de Redes de Cable en Guatemala**

En Guatemala el primer paso que se debe dar para poder expandir el ancho de banda de las redes, es determinar si existe una verdadera línea troncal. Si no existe una línea troncal verdadera, sino que únicamente hay cable troncal y amplificadores de todo tipo, se tiene que

convertir la línea en una verdadera línea troncal. Para ello, primero hay que colocar exclusivamente amplificadores troncales en la línea troncal. Si existen líneas secundarias deben ser subtroncales de nos mas de 3 troncales en cascada, cascadas de line extenders (o en ultimo caso CA-30) de 1 o 2 máximo.

Ya teniendo una línea troncal verdadera, se puede expandir el ancho de banda. Para expandir el ancho de banda hay que determinar si existe una frecuencia de diseño, con base en la cual se construyó el sistema. Ya con ello, hay que determinar si las líneas troncales tienen amplificadores de la frecuencia de diseño, o mayor, y si las distancias entre troncales son menores o iguales a la distancia base de la frecuencia de diseño.

Si no se cumple con lo anterior, primero hay que hacer que las líneas troncales cumplan con la frecuencia de diseño nominal, esto quiere decir, cambiar los amplificadores que no cumplan con las frecuencias de diseño y colocar los troncales a distancias menores, o igual a la distancia de diseño. Esto último, se puede lograr colocando amplificadores intermedios, en los casos en que las distancias estén excedidas por un 25%, 30% o mas, o colocando cable de mayor diámetro o MC<sup>2</sup> (con dieléctrico de aire) o cable RG-750 en lugar de RG-500. Cuando las distancias no estén excedidas por menos de un 25% o 30%, o simplemente colocarse amplificadores con mayor ganancia.

Estas opciones, que se aplican para permitir llegar al ancho de banda deseado, son las que se deben utilizar para expandir el ancho de banda. La expansión de ancho de banda de una red es limitada. No se puede expandir mas allá de un 20 a 30% sin hacer cambios radicales. Esto no se debe a la expansión en la línea troncal, sino a la expansión de ancho de banda en la red de distribución.

En Guatemala, el problema básico que tienen las redes de cable, es que se ha expandido el ancho de banda, sin preparar a las redes para poder recibirlo. Lo que se ha hecho, es aumentar el número de canales, hasta llegar a un punto en donde la red troncal logra que funcionen aceptablemente, pero sin preparar las distribuciones ni la misma troncal. Entonces el problema inicial, es hacer primero que la redes funcionen adecuadamente con el ancho de banda con el que se está trabajando, para luego poder efectuar una expansión en el ancho de banda.

Para lograr que una red funcione a 300 MHz como mínimo, es necesario tener troncales a no mas de 500 metros de distancia, cascadas no mayores de 10 troncales y cumplir con las normas de diseño ya establecidas en la sección anterior.



## **VII. ADAPTACION DE REDES PARA SERVICIOS ADICIONALES EN GUATEMALA**

En Guatemala, como ya lo recalqué anteriormente no se diseñaban las redes, mucho menos se consideraban aplicaciones futuras. Por ello, lo primero que se debe hacer para poder acoplar las redes existentes a los nuevos servicios, es implementar la doble vía.

### **A. Transmisión Interactiva de Doble Vía (Two Way)**

Una de las grandes ventajas que poseen las redes de cable, es su posibilidad de doble vía, ya que así como la señal viaja en un sentido, de la planta hacia el usuario, también puede viajar en sentido contrario, o sea desde la casa del usuario hacia la planta. La vía de retorno, normalmente tiene un ancho de banda menor, pues lo que está disponible, es la banda de 5 a 30 MHz, aunque esta puede expandirse fácilmente de 5 a 50 MHz. Cuando se necesita un ancho de banda mayor, hay que hacer cambios de tipos de amplificador, para poder utilizar como reversa parte de la banda directa.

Las redes de cable, además de transmitir video pueden transmitir cualquier tipo de señal, por lo que al tenerse doble vía puede haber comunicación interactiva en las redes. En Guatemala para que exista comunicación interactiva en sus redes es necesario primero utilizar amplificadores adecuados, es decir troncales en las líneas troncales y line extenders en las líneas de distribución. De lo contrario, cualquier amplificador CA-30 o MCM-55 bloquea totalmente la vía de retorno. Al pasar una señal de retorno por un amplificador CA-30 o MCM-55, no hay amplificación y además encuentran bloqueo las frecuencias bajas, por lo que en líneas donde existe, este tipo de amplificador, no puede haber vía de retorno.

Las redes de CATV deben ser interactivas, para poder brindar beneficios adicionales a otras redes o sistemas que puedan transmitir señales de video, como lo es el caso del MMDS (*Microwave Multipoint Distribution System*), las cuales a través del espacio, en el rango de 13 GHz, transmiten un ancho de banda hasta 24 canales, señales de televisión, necesitando para su captación únicamente una antena, un amplificador, un receptor de bajo costo y se tiene entonces señales de igual manera que a través de una red de CATV, la diferencia es que en este sistema MMDS, no se puede tener doble vía ya que el equipo de transmisión resultaría de un valor muy alto como para poder implementar la doble vía. Mientras que en los sistemas CATV esto representa un costo marginal pequeño.

El uso adecuado de los conceptos de CATV en el diseño de redes es muy importante, ya que de lo contrario la vía de retorno no va a seguir la ruta de retorno adecuadamente. La vía de retorno es menos susceptible a la relación C/N en el abonado por ser frecuencias mas bajas las cuales tienen menores pérdidas; pero en cambio, son mas susceptibles a interferencias, por lo cual el uso de cable tipo troncal es muy importante para mantener las señales aisladas de interferencias.

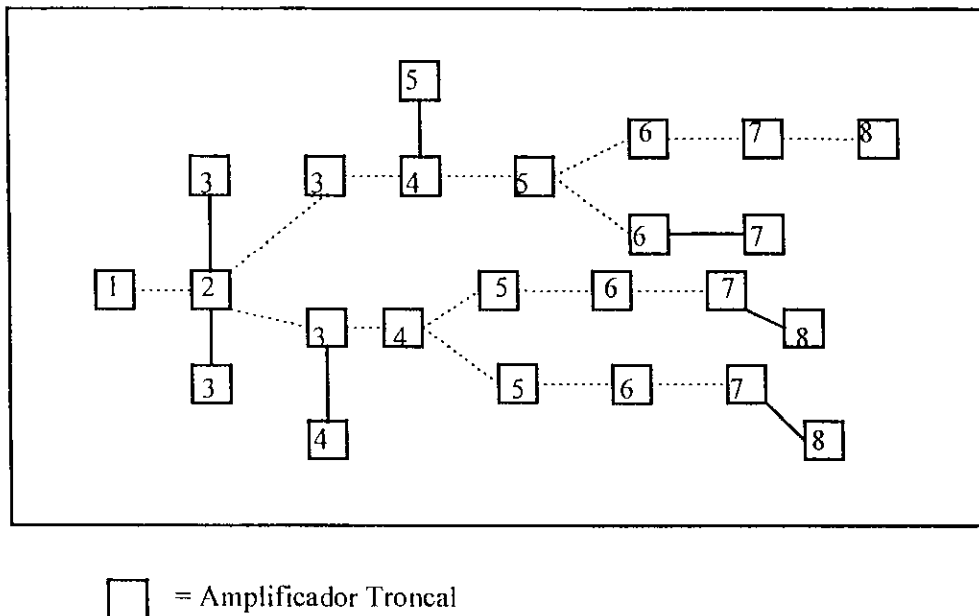
La relación C/N del sistema es muy importante para la señales de doble vía y entre mas se utiliza la misma, mas importante es que el sistema este perfectamente diseñado, ya que como la vía de retorno va en sentido contrario el ruido se vuelve aditivo, de manera tal, que en un sistema en donde el C/N en una cascada de 8 troncales es 45, en la vía de retorno puede ser 42 por tener varios ramales, los cuales suman ruido a la señal, teniéndose entonces que sumar el ruido de todos los amplificadores involucrados, como se muestra en el ejemplo de la gráfica 7.1, en la vía directa la cascada máxima es 8, mientras que en la vía de retorno el ruido puede ser el de hasta 24 amplificadores, así un sistema de 20 troncales en cascada puede tener hasta 100 o 150 amplificadores en total.

Por ello para consideraciones de diseño en Guatemala es muy importante considerar el C/N recomendado para la FCC para poder hacer funcionar la vía de retorno.

### GRAFICA 7.1

#### Diagrama de Amplificadores en una red CATV

Comparación del número de amplificadores en cascada en vía directa versus vía de retorno



Las transmisiones de datos, las intercomunicaciones entre computadoras (acceso a Internet), son servicios que se pueden brindar a través de las redes de cable en Guatemala, únicamente teniendo la vía de retorno. Con el uso de MODEMS se pueden transmitir señales en la vía directa en el rango desde 55 hasta 300, 400 o 450 MHz, según el caso de la red y en la vía de retorno de 5 a 30 MHz, lo único que se necesita, es conectar a los puntos a comunicar, a través de un tap de distribución y unirlos por medio de la red de cable.

## **B. Transmisión de Vídeo con Fibra Optica**

Cuando una red llega a tener una longitud donde la cascada de troncales es mayor de 20, el nivel de C/N es muy difícil de mantener en los estándares aceptados por la FCC y la TASO, y cuando esta es de 30, 40 o más la relación C/N ya no se puede mantener en 43 que es el mínimo aceptado. Pero en muchas partes, igual que en Guatemala, es común que existan líneas que recorran 10, 20 kilómetros o más; lo cual implica que utilizando cable coaxial se deba tener una cascada de 25, 40 o más troncales. La única forma que existe para evitar tener cascadas tan grandes, y por tanto relaciones C/N dentro de estándares, es efectuar enlaces de fibra óptica. Además, en las redes muy grandes por el ruido aditivo en la vía de retorno, es importante tener nodos de fibra óptica que cubran áreas de 500 a 2000 casas pasadas, de manera tal de garantizar la "performancia" del sistema. Porque la fibra sirve como camino separado hacia la planta de cada bloque conectado al nodo.

En Guatemala, el uso de líneas de fibra óptica se debe hacer como una de las maneras más rápidas de lograr que las redes cumplan con los niveles mínimos de calidad de transmisión; ya que al interconectar con fibra óptica y reducir las cascadas de amplificadores a cascadas de 10 o menos troncales, se tiene menores fuentes de ruido y también una relación señal ruido mucho mejor, aun utilizando 1 o 2 CA-30 en cascada.

El uso de fibra óptica en Guatemala, permitirá acercar más rápidamente las redes existentes en la actualidad a los estándares de transmisión, principalmente en el mínimo de relación señal ruido. En Guatemala, el uso de fibra óptica se debe considerar como un medio para acercarse a los estándares internacionales y no como un vehículo para forzar a las redes nuevamente, mucho más allá de sus frecuencias de diseño, máxime cuando en la mayoría de la red no ha existido diseño. La fibra óptica además, permitirá a los sistemas de cable existentes en Guatemala su desarrollo a servicios adicionales.

## VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Para cumplir con los estándares mínimos internacionales de transmisión, las redes de cable en Guatemala deben tener por lo menos, una línea troncal que interconecte a toda la red, de manera que no existan más de un amplificador CA-30, MCM-55 en cascada (ref. sec. VI.A, VI.C). Las líneas principales, deben ser verdaderas troncales, con amplificadores troncales y con cable RG-500.
2. Para lograr tener una relación señal ruido que cumpla con los estándares internacionales, no se debe tener cascadas con mas de 15 troncales, y cuando esto suceda, es indispensable hacer enlaces de fibra óptica (ref. sec. VI.A, VII.B).
3. Para poder implementar nuevas tecnologías y servicios adicionales a la transmisión de televisión en las redes de cable, es indispensable tener una línea troncal y además tener vía de retorno por lo menos en la línea troncal. (ref. sec. VII, VII.B)
4. Es indispensable mantener estándares de calidad mínimos de recepción, en todas las casas de los usuarios de cable, de manera de poder garantizar el uso de servicios adicionales que en su mayoría, en la actualidad, utilizan señales digitales (DMX, PPV, SEGA, etc.) así como el uso futuro de señales de video en compresión digital (ref. sec. Apéndice C y D).
5. Todas las redes nuevas de cable que se construyan en Guatemala, deben hacerse cumpliendo con las recomendaciones internacionales de diseño, por lo menos en lo que respecta a las líneas troncales. Se debe considerar que las redes de cable que no estén preparadas para prestar servicios adicionales, van a ser eliminadas por las que sí lo permitan o por las nuevas tecnologías de transmisión de televisión. (ref. sec. VII.A, VII.B, VI.A).

6. Para lograr expandir el ancho de banda en las redes de cable, primero hay que definir la línea troncal y colocar los amplificadores y cables a las distancias adecuadas. Luego hay que adaptar las distancias para llegar a la frecuencia de diseño deseada. Finalmente, hay que recalcular las distribuciones y reconstruir las partes de la red para lograr llegar a la frecuencia deseada (ref. sec.VI.D).
7. Para lograr que las redes de cable puedan adaptarse a las transmisiones de datos, es necesario que tengan una relación señal ruido superior a los 25 dB y que tengan implementada la vía de retorno. La velocidad de transmisión de los datos, estará limitada por la capacidad de los equipos utilizados en la interconexión y podrá ser desde 9 Kbps hasta 100 Mbps (ref. Apéndice C).
8. Es más importante estabilizar una red y cumplir con los estándares internacionales de transmisión, aunque esto signifique una disminución en el ancho de banda de transmisión. Considerando que el poder adquisitivo de la mayoría de la población de Guatemala, es bajo, se debe tener una tarifa baja para el servicio de CATV, lo cual obliga a disminuir costos y como al tener un ancho de banda mayor el costo de la red es mayor; es mejor tener una menor capacidad de canales y una relación señal ruido dentro de los estándares aceptados, que tener un ancho de banda muy grande e incumplir con estándares de transmisión. (ref. sec. VI.D)
9. El uso de la fibra óptica, es imprescindible en redes con más de quince amplificadores en cascada, no sólo porque mejora la relación señal a ruido, sino porque brinda al sistema mayor estabilidad y a largo plazo significa una ahorro en el costo de mantenimiento de la red. (ref. sec. VII.B)

## IX. BIBLIOGRAFIA

- Adelson, Richard. Sistemas de Transmisión. Mexico DF. 87 pp.  
1986.
- Federal Communications Commission. Fact Sheet On Advanced Television.  
1992. New York, NY. 468 pp.
- Grant, William. Cable Television. Segunda Edición. New York, GWG Associates.  
1,988. 378 pp.
- Jerrold Communications. Cable Television Equipment. Hatboro, PA. 312pp.  
1993.
- Johnson, Eddie. Television. New York, NY. Random House, Inc.. 618 pp.  
1992.
- Lynes, Kenneth. CATV System - Measurement Techniques. Segunda Edición.  
1984. Columbus, Ohio. 191 pp.
- Midwest CATV. Product Catalog. Overland Park, KS. 224 pp.  
1989.
- Quante. The Digital Fact Book. Quantel Limited. Septima Edición.  
1994.
- Schwartz, Mischa. Transmision de Información Modulación y Ruido. Tercera Edición.  
1,987 México D.F. Mc Graw Hill. 685 pp.
- Scientific Atlanta. CATV Data Book. Atlanta, Georgia. 100pp.  
1994.
- \_\_\_\_\_, Equipment Manual. Amplifiers & Head End Equipment.  
1,994 Atlanta, Georgia. 845pp.
- Society of Cable Television Engineers. 1994 Conference On Emergin Technologies  
1,994 Orlando, Florida. 409 pp.
- TFC. The Cable Book. Wallingford, Connecticut. 188pp.  
1993.
- Wharton, J. Catv Industry. Segunda Edición. Indianapolis, IN. Howard W. Sams & Co.  
1983. 581 pp.



## APENDICE A

### Sistemas de Pago Por Video (Pay Per View)

Los sistemas *pay per view*, son una variedad de las múltiples que permite un sistema de codificación interno. Son una modalidad de transmisión, que no depende tanto del diseño de las redes sino que principalmente es un cambio en la planta de transmisión.

Los sistemas *pay per view*, necesitan para su funcionamiento, que se pueda codificar parte o la totalidad del ancho de banda. Para ello, se necesita equipo de codificación para cada canal. Los equipos de codificación, deben causar una distorsión en la imagen, ya sea pérdida de sincronismo, inversión de vídeo, inversión de sincronismo, digitalización, compresión, etc. de manera tal que para un suscriptor que no tenga el equipo de descodificación, la señal no sea visible.

La codificación de señales permite dividir los canales que ofrece un sistema de cable en bloques, los cuales pueden tener tres tipos de canales:

**Canales Básicos:** Se denominan así, todos los canales que no tienen ningún tipo de codificación y que son accesibles para todos los usuarios del sistema de cable. En Guatemala todas las empresas de cable transmiten sus señales como canales básicos.

**Canales Premium:** se denomina así a todos los canales que tienen algún tipo de codificación y que para poder captarlos es necesario que la empresa de cable instale un equipo de descodificación para poder captarlos. La empresa de cable puede descodificar el canal o canales que cada usuario solicite (*normalmente cada canal tiene un costo adicional para el usuario*).

**Canales Pay Per View:** Son canales que al igual que los premium tienen algún tipo de codificación, y que para descodificarlos se necesita equipo de descodificación, la diferencia es que estos canales solo se “abren” o sea quedan visibles para el usuario, cuando él lo solicita y durante el tiempo que dura el evento que el usuario solicitó. *(normalmente cada evento tiene un costo adicional para el usuario).*

**Near Video On Demand (NVOD):** Es una modalidad de los sistemas pay per view que permite al suscriptor tener un evento o película disponible casi cuando el lo desea. El principio de NVOD es utilizar varios canales para transmitir un mismo evento de manera tal que el evento está empezando a ser transmitido cada 15 o 20 minutos, en el canal A empieza a la hora 0, en el canal B 15 minutos después, en el canal C 30 minutos más tarde y así sucesivamente, de manera que si el evento dura dos horas, se necesitan ocho canales para tener una cobertura cada 15 minutos. Si se desea que la separación sea menor, el número de canales necesarios para transmitir el evento aumenta. Esta modalidad de Pay Per View requiere de un ancho de banda mayor ya que se necesitan varios canales para transmitir cada evento que normalmente requeriría de un solo canal. El NVOD se hace mas accesible utilizando compresión para aprovechar así mejor el ancho de banda, lo cual significa también una mayor inversión por el uso de equipo de compresión. En la actualidad, el NVOD se utiliza sólo en algunas compañías como pruebas. En Guatemala, dicho sistema no es aplicable en la actualidad, por el alto costo que significaría el uso de un ancho de banda tan grande.

**Vídeo On Demand (VOD):** Es la modalidad mas avanzada y aun en prototipo de los sistemas Pay Per View. Consiste en la transmisión digital de todo el evento, la cual es almacenada en una memoria de la “caja decodificadora”, de manera que así se tiene acceso al evento cuando se desea, como si se tuviera grabado en un videocasete,

pudiéndose regresar, hacer pausa, etc., en síntesis las funciones que se tienen en una videograbadora. El sistema VOD tiene la desventaja de que en la actualidad, la “caja decodificadora” tiene un costo muy alto por lo cual sólo esta siendo utilizado como prototipo en algunos hoteles.

En Guatemala se tiene que pensar en cumplir con los estándares de transmisión, porque de lo contrario, al tener relaciones C/N tan fuera de especificaciones, como lo es el caso de Guatemala, las señales codificadas, no van a poder ser decodificadas debido a que por efecto del ruido, la información de la codificación se perderá.

Debido a que aún en una misma zona, no todas las personas tienen el mismo nivel de ingreso, en Guatemala debe pensarse en utilizar sistemas de codificación; para así poder separar la programación de manera de poder ofrecer un paquete con canales básicos a cualquiera que desee cable y paquetes de canales adicionales, con costos adicionales para aquellos que deseen programación adicional.

Para que un sistema de codificación funcione, lo mas importante es tener una C/N aceptable. Para ello deben de remodelarse las redes tal como se sugiere en la sección VI.C.



## **APENDICE B**

### **Transmisión de Datos**

La transmisión de datos es la utilidad mas común que puede tener una red de CATV con doble vía, y es una de las grandes ventajas que ofrecen las redes de cable en Guatemala y que aun no han sido explotadas. La razón principal, ha sido el que las redes no poseen capacidad de vía de retorno.

Con la utilización de nodos con fibra óptica, las redes de cable ofrecen ventajas aun mayores, ya que las líneas de fibra óptica sirven como autopistas de señales, en las cuales en unas fibras se transmiten señales de vídeo y en otras fibras se pueden transmitir datos. En las fibras en donde se transmiten datos, el ancho de banda es casi ilimitado para lo niveles de transmisión de datos utilizados en Guatemala (19.2 K o 64K) cuando en la fibra se pueden transmitir hasta 2.4 Gbs.

En los taps de distribución de las redes de cable ingresa la señal. Esta es llevada a un amplificador troncal y trasladada por el mismo, por medio de los módulos de retorno hasta el head end. Allí es transmitida en algún canal de la vía directa, hacia otro punto. Los enlaces punto a punto en la red, se tienen que hacer utilizando distintas frecuencias para cada punto de manera de poder transmitir o enlazar una buena cantidad de puntos. La cantidad de puntos a enlazar dependerá del ancho de banda o sea de la velocidad de transmisión de los datos. Por ejemplo, si se transmite a 19.2K se pueden tener 300 enlaces, por cada canal de vídeo utilizado para transmisión de datos. Si la velocidad es de 64K se reduce a 75 enlaces. Si se considera que hay 5 canales en la vía de retorno, se puede observar que la cantidad de enlaces es 5 veces mayor.

Además, en cada nodo de fibra óptica, al que haya conectado un receptor, podrá tener enlaces distintos, lo cual significa que una red de cable - fibra óptica puede permitir enlaces  $n$ -veces mas enlaces como  $n$ -nodos existan.

Con los enlaces se pueden interconectar PC's, o se pueden transmitir canales de voz y tener así la capacidad de brindar telefonía. Para cada uno de los casos, hay que utilizar equipos terminales (Modems) para poder modular en el caso de transmisión de datos. En el caso de transmisión de telefonía, es necesario utilizar cajas terminales en cada casa y equipo de conmutación en la planta o en los nodos de fibra, para poder interconectarse a las centrales telefónicas. Existe también una modalidad con la cual se utilizan equipos concentradores en los troncales y llegar con cable telefónico a los suscriptores. En la actualidad ambas modalidades tienen costos altos, que tenderán a bajar en el futuro, por lo cual todavía no son rentables para ser aplicados en Guatemala. Pero como la tecnología tiende a utilizar un bus único para todas las transmisiones que entran a una casa, es necesario preparar a las redes en Guatemala para que cumplan con los estándares de transmisión, para que así sea factible adaptar las telefonía.

En el caso de la transmisión de datos, es algo que ya es aplicable a la realidad de Guatemala, pero que necesita indispensablemente la existencia de la doble vía, por lo cual es necesario efectuar las remodelaciones sugeridas en el capítulo 4.

## APENDICE C

### Transmisión de Vídeo Adicionales

La transmisión de datos, es una de las grandes ventajas que ofrecen las redes de cable, que en Guatemala no han sido explotadas. La razón principal de ello, ha sido la falta de doble vía. Los sistemas interactivos permiten la transmisión de video en la vía de retorno, lo cual da la facilidad a una empresa de cable, de transmitir eventos que sucedan en donde pasa la red de cable en transmisión directa, como por ejemplo un partido de futbol, puede ser transmitido por medio de una unidad móvil, la cual se conecta por un cable a un tap de la red de cable que pase por donde esté el partido de futbol. La señal es llevada al head end por la vía de retorno y es transmitida en directo por medio de uno de los canales de la vía normal a todos los suscriptores.

**Sistemas de Monitoreo de Red:** La vía de retorno, también permite la transmisión de señales de cualquier amplificador existente en la red, por lo cual existen sistemas de control de la red; los cuales consisten en agregar un módulo adicional a los amplificadores troncales. Dicho módulo, muestrea voltajes dentro del amplificador y los codifica como pulsos digitales. Dichos pulsos digitales, son transmitidos a través de la vía de retorno. Se hace una separación en frecuencia o se transmite un código digital que identifique al modulo; de manera que en la central receptora de la información, se puede saber de qué punto y por consiguiente de qué amplificador de la red viene la información.

Los voltajes muestreados y codificados que son tomados en cada amplificador representan tanto el estado del amplificador como de la línea que los interconecta, por lo cual con estos sistemas, se puede tener un control total del estatus de la línea. De esta manera, cada vez que una línea sufre un corte de señal o una variación de sus niveles, esta información es inmediatamente detectada por la computadora central y desplegada. La capacidad y

cantidad de información que puede brindar el sistema de monitoreo de la red, dependerá del tipo de amplificadores utilizado y del sistema de monitoreo utilizado. La mayoría de estos sistemas existentes están en etapa de desarrollo, aunque existen sistemas completos ya funcionando a nivel comercial.

Como siempre, para poder implementar cualquier sistema de monitoreo, así como ha sido explicado con otros servicios adicionales que pueden prestar las redes de cable, es necesario que exista la vía de retorno y por supuesto que las líneas estén construidas con troncales y con los estándares de transmisión aceptados internacionalmente.

**DMX:** Digital Music Express (o sistemas similares), sistema de transmisión de música con sonido de alta definición.. Este sistema, permite transmitir treinta canales de música. La señal es codificada y modulada digitalmente, de manera que al pasar por la red de cable las señales de audio originales, no perciben el ruido del sistema, con lo cual al llegar a la caja receptora en la casa de un suscriptor. El audio es decodificado y puede ser conectado a cualquier equipo de sonido, obteniéndose así una calidad de sonido similar a una grabación de estudio. Las señales de audio, son manejadas digitalmente desde su fuente transmisora. Su *Up-link* y *Down-link* es con modulación digital, de manera que el equipo de recepción únicamente hace una bajada de frecuencia de la señal y una remodulación de las señales digitales. Los treinta canales de audio ocupan un ancho de banda de 18 MHz, pero pueden ser separados en 6 bloques de 3 MHz de ancho cada uno, de manera que se puedan ubicar en cualquier parte del ancho de banda diseñado en la red de cable.

Las señales de DMX, normalmente son transmitidas en los canales que coinciden con la banda de FM (canales 95 a 99; 88 a 108 MHz), por lo cual es importante que la red en la que se transmita esta señal digital, esté completamente aislada, pues de lo contrario las señales digitales del DMX pueden ser bloqueadas por las señales aéreas de las estaciones de FM, de

igual manera si la relación C/N es menor de 25 dB, las señales de DMX ya no pueden ser descodificadas. Los estándares del DMX para transmisión, son bastante tolerantes, por lo que una red que cumple con los estándares de transmisión no tiene ningún problema con el DMX.

En Guatemala, los sistema DMX pueden encontrar problemas con el uso de los amplificadores CA-30, pues los mismos son muy sensibles a interferencia de señales aéreas, por lo que se vuelve de nuevo al problema ya tautas veces mencionado de utilizar troncales y cable 500 en las líneas principales en lugar de CA-30. En cuanto a la relación señal ruido, donde el sistema DMX no funcione por esta razón, es que la señal tiene muy mal nivel de C/N o está muy débil en la casa del usuario de cable. Por cualquiera de los dos motivos, quiere decir que se le está entregando a las personas una calidad de señal muy por debajo de los estándares de calidad internacionales.

El DMX debe ser uno de los servicios adicionales existentes para redes de cable, más accesibles para implementar en las redes de Guatemala, y en las redes en donde falle, es muestra de que se encuentran con pésimos estándares de calidad.



## APENDICE D

### HDTV y Compresión Digital en Sistemas de Cable

A mediados de los 80's la FCC consideró permitir a los operadores de canales VHF, el acceso a canales de UHF para poder así, utilizar un canal de VHF y uno de UHF. La razón era el poder transmitir televisión de alta definición; la cual ya estaba en desarrollo en Japón. Esto presentaba grandes limitaciones para las transmisiones de televisión "abierta", o sea las transmisiones a través del espacio. Se decidió entonces, crear un comité para la investigación de servicios avanzados de televisión, ACATS (*Advisory Committee On Advanced Television Service*).

Luego de analizar más de veinte sistemas o subsistemas propuestos, se determinó cuáles eran físicamente viables y con un prototipo realizable en un período razonable de tiempo. El resultado del análisis dió la aceptación de seis sistemas, de los cuales uno era compatible y los otros cinco no eran compatibles con la HDTV. En esos momentos, surgió el sistema DigiCipher, el cual era una transmisión en compresión digital, por lo cual se introdujo como sistema a evaluar, para determinar si la transmisión digital proporcionaba ventajas sobre los sistemas propuestos.

En febrero de 1992 el ACATS revisó y evaluó el sistema recomendado por la NHK y consideró que debía ser eliminado y no considerado para el sistema de televisión avanzada. En la primavera de 1992 se formó la gran alianza entre la AT&T, General Instruments, M.I.T., Philips & Zenith, para crear un sistema de alta definición, basado en los cuatro formatos originales de transmisión digital .

Las pruebas iniciales, hicieron que dos de los sistemas propuestos, fueran descartados, ya que presentaban una pobre calidad de señal, cuando había mucho ruido o interferencia; por lo cual se recomendó utilizar los dos sistemas que hacían la transición de señal perfecta a no-señal.

En enero de 1994 el ACATS recomendó hacer pruebas de transmisión completas a los dos sistemas seleccionados para determinar su "performance", incluyendo pruebas en las transmisiones terrestres, a través de sistemas de cables y en modems de alta velocidad. Las pruebas se hicieron incrementando el nivel hasta llegar al punto de umbral de visibilidad (*Threshold of Visibility*) TOV equivalente al BER (*Bit error ratio*). En este punto fueron medidas las señales para determinar los mínimos de calidad. Ver Tabla 4.5

**TABLA APENDICE D.1**

**Tabla comparativa de las características de Transmisión de los cuatro Sistemas de Compresión Digital propuestos para HDTV**

CARACTERISTICAS	32QAM	8 VSB	256QAM	16VSB
Signal to Noise S/N (TOV)	14.8dB	14.8dB	29.3dB	27.6dB
Phase Noise (TOV)	81.3dB	77.1dB	84.2dB	83.0dB
Residual FM (TOV)	8.4KHz	8.8KHz	7.0KHz	4.7KHz
Peak-Average	5.8dB	6.4dB	6.4dB	6.5dB
Composite Second Order (TOV)	10.6dB	28.5dB	37.0dB	33.4dB
Composite Third Order (TOV)	32.0dB	12.6dB	46.5dB	44.0dB
High Level Wavetek Avg BER	$7.3 \times 10^{-5}$	$2.8 \times 10^{-7}$	$4.0 \times 10^{-5}$	$1.4 \times 10^{-6}$
Data Rate (Mbs)	19.12	18.77	19.11	18.77

Luego del análisis de los sistemas, se demostró que tanto en transmisiones terrestres como en cable, los VSB ambos el estándar y el de modems de alta velocidad eran superiores a los modems QAM. El ACATS seleccionó el 8VSB modem como sistema de transmisión para operadores terrestres y el 16VSB modem para transmisión en sistemas de cable. Los buenos resultados de los modems de alta velocidad de transmisión, dieron la oportunidad a los operadores de cable de transmitir dos canales de alta definición en el ancho de banda de un canal normal del sistema (6MHz).

Luego de efectuadas las pruebas, se efectuaron otras con ocho sistemas de cable locales en Charlotte y se transmitieron señales terrestres en el canal 6 VHF y 53 de UHF para determinar el funcionamiento de las señales. En los sistemas de cable en donde se cumplían las normas de la FCC las señales transmitidas en VSB tenían una alta calidad y un margen significativo de transmisión. Pero en las casas donde no había niveles adecuados, interferencias o la relación C/N era bastante por debajo de las normas FCC. La señal pasaba de una señal perfecta abruptamente, a no-señal o simplemente no se lograba captar nada. De igual manera en las pruebas en transmisiones terrestres, en las casas en donde se tenía una pobre recepción de señales NTSC, las señales de ATV en VSB no se captaban .

La televisión de alta definición no ha dado su norma final de transmisión, lo que sí se ha demostrado, es que las transmisiones digitales pueden ocupar un ancho de banda menor que las transmisiones analógicas; por lo cual seguramente la norma de televisión de alta definición (HDTV) va a ser fijada con el sistema de transmisión digital. La implementación de la norma en los sistemas de cable esta ya muy próxima, pues por los sistemas de codificación, pay per-view existentes el uso de "*Home Terminals*" es muy común. El tener una "*Home Terminal*" con selección para señales digitales en alta definición y señales estándares NTSC es muy viable de implementar.

Por lo cual en el futuro la transmisión digital, principalmente en los sistemas de CATV va a ser lo mas utilizado, ya que además de brindar opción a la HDTV y una mejor calidad de señal, significa un ahorro enorme del ancho de banda, el cual es limitado. Las redes de CATV deben cumplir los estándares mínimos de calidad pues como se indicó anteriormente a diferencia de las señales análogas, cuando el nivel de calidad no es el adecuado, la señal simplemente no se capta.

En Guatemala, se debe empezar a cumplir con los estándares de calidad C/N de lo contrario no se podrá utilizar la tecnología digital, la cual sería una de las ventajas adicionales sobre la televisión abierta. Para la transmisión digital que es el futuro las redes deben de tener un C/N muy superior al existente en la actualidad en Guatemala.

## GLOSARIO

**ACATS** (Advisory Committee on Advanced Television Service)

Comite creado por la FCC para evaluar y calificar sistemas y servicios avanzados de Televisión.

**CATV** (Community Antenna TeleVision)

Sistema de televisión que distribuye señales que capta de una antena a una comunidad con señales adicionales a las que se captan localmente.

**C/N** (Relacion Señal a Ruido, Carrier To Noise)

En un sistema donde existen portadoras de RF se define a como relación Carrier to Noise a la respuesta del sistema al ruido.

**dB** (Decibel)

El decibel es una medida logarítmica que permite determinar la relación de potencias en un punto dado, ya sea un derivador, un amplificador o un tramo de cable (ref. IV.C.1).

**FCC** (Federal Communications Commission)

Comisión Federal de comunicación de los Estados Unidos Americanos, es la comisión encargada de fijar normas y estándares para las comunicaciones.

**HDTV** (High Definition Television)

Sistema de televisión de alta definición, el estandar todavía no esta definido, pero identifica al sistema de transmisión de televisión, con aproximadamente el doble de líneas de definición que el sistema actual.

**NTSC (National Television Standards Comitee)**

Comite Nacional de estándares de televisión de la comisión federal de comunicación (FCC) de los Estados Unidos Americanos. Nombre con el que se conoce al estándar de transmisión de video de 525 líneas conmutadas a 30 cuadros por segundo (frecuencia de AC americana 60 Hz), el cual es utilizado en casi toda América y en el Japón.

**PAL (Phase Alternating Line)**

Alternación de fase por línea. Sistema utilizado principalmente en Europa, en el cual se transmiten 625 líneas de video por cada cuadro y por 25 cuadros por segundo (frecuencia de AC europea 50Hz).

**SECAM (Secuencia de Color con Memoria)**

Sistema de transmisión adoptado por Francia y los países de Europa Oriental. El video se transmite a 625 líneas por cuadro y 25 cuadros por segundo (frecuencia de AC europea 50Hz).

**TASO (Television Allocations Study Organization)**

Organización privada norteamericana que se dedica al estudio de normas y patrones de televisión.

**TRUNK (Troncal)**

Es cualquier parte de la red que lleva la señal principal y que no la distribuye directamente a los abonados.