

29



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

TECNOLOGÍA DIGITAL Y OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RECEPCIÓN DE T.V. VÍA SATÉLITE EN LA BANDA Ku

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
P R E S E N T A N:

COLLAZO LLERANDI SERGIO
DÍAZ MAZADIEGO JUAN POPOCATEPETL
ECHAVARRÍA AYUSO RUY

DIRECTOR DE TESIS: DR. RODOLFO NERI VELA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



CIUDAD UNIVERSITARIA

1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedico este trabajo a mis padres Sergio y Yolanda por todo su apoyo, a mi familia y a mis maestros.

Sergio Collazo Llerandi

Dedicada en especial a mis padres por el amor y apoyo que siempre me han dado, a mi familia, a la U.N.A.M. y a mis amigos.

Juan Popocatepetl Díaz Mazadiego

***A mi familia,
a mis maestros,
a mis amigos,
con todo mi agradecimiento.***

Ruy Echavarría Ayuso

***Los ponentes de esta tesis
agradecen especialmente
el apoyo brindado por el
Dr. Rodolfo Neri Vela,
quien además de un maestro es un amigo.***

Indice

Introducción

1 Características de una señal de televisión y métodos tradicionales de transmisión

- 1.1 Introducción y estándares en banda base
- 1.2 Descripción de los componentes de una señal de video
- 1.3 Televisión radiada por tierra
- 1.4 Televisión por cable
 - 1.4.1 Componentes del sistema de televisión por cable
 - 1.4.2 Sistemas bidireccionales
- 1.5 Televisión vía satélite
 - 1.5.1 Clasificación de los sistemas de DBS
 - 1.5.2 Asignación de frecuencias para TV vía satélite
 - 1.5.3 Evolución de los sistemas de TV vía satélite
 - 1.5.4 Características de la señal de TV vía satélite

2 Satélites transmisores y estaciones terrenas de recepción de televisión analógica en la banda C

- 2.1 Satélites transmisores de televisión en la banda C
 - 2.1.1 Sistema de satélites Solidaridad
- 2.2 Sistema receptor de TV vía satélite en la banda C (estación terrena)
 - 2.2.1 Unidad externa
 - 2.2.2 Unidad interna
 - 2.2.3 Codificación de la señal en la banda C

3 Comparación del uso de las bandas C y Ku en América, Europa y Japón. Televisión digital

- 3.1 Televisión vía satélite en Europa
 - 3.1 Televisión vía satélite en Estados Unidos
 - 3.1 Televisión vía satélite en Japón
 - 3.4 Estándares de televisión digital
 - 3.4.1 Recomendación CCIR-601
 - 3.4.2 Estándar MPEG
 - 3.5 Estándares de difusión de televisión digital vía satélite
 - 3.5.1 Estándar DVB
 - 3.5.2 Estándar DigiCipher I y DigiCipher II
 - 3.5.3 Estándar DSS
 - 3.5.4 Calidad de video digital
-

-
- 4 El servicio DirecTV de Estados Unidos y otros competidores**
 - 4.1 Sistemas de DBS
 - 4.2 Servicios de DBS disponibles actualmente en Estados Unidos
 - 4.2.1 PrimeStar
 - 4.2.2 DirecTV / USSB
 - 4.2.3 EchoStar / Sky Angel
 - 4.2.4 AlphaStar
 - 4.3 Tecnología integrada en el servicio de DBS
 - 4.4 Otros aspectos

 - 5 Antenas receptoras de televisión en banda Ku**
 - 5.1 Introducción
 - 5.2 Parámetros generales de una antena parabólica
 - 5.3 Tipos de antenas parabólicas
 - 5.4 Antenas planas

 - 6 Sistemas de DTH en México y América Latina**
 - 6.1 El servicio Sky
 - 6.1.1 El servicio Sky Brasil
 - 6.1.2 Sky habla hispana
 - 6.2 El servicio de DirecTV
 - 6.2.1 Centros de transmisión satelital
 - 6.2.2 Receptores de DTH (IRD)

 - 7 Televisión de alta definición. Tecnología actual y perspectivas**
 - 7.1 Evolución de los sistemas de HDTV
 - 7.2 Características del formato HDTV
 - 7.2.1 Ancho de banda
 - 7.2.2 Tipo de barrido de la imagen
 - 7.2.3 Compresión
 - 7.3 Medios de difusión de HDTV
 - 7.4 Sistema MUSE
 - 7.5 Sistema MAC
 - 7.6 Estándar de la Gran Alianza.
 - 7.8 Sistema HD-SAT
-

Conclusiones

Apéndice 1 Glosario

Apéndice 2 Asignación de frecuencias de los canales de televisión en banda UHF y VHF

Apéndice 3 Cálculos de las tasas de bits para diferentes formatos de video en componentes

Apéndice 4 Cálculos de enlace y calidad de recepción

A.4.1 Cálculos de enlace para video analógico en la banda C

A.4.2 Cálculos de enlace para el servicio Sky utilizando el Solidaridad 2

Bibliografía

Introducción

Los sistemas de televisión via satélite han evolucionado de manera sorprendente en los últimos años. A principios de los años 70, un satélite sólo era capaz de llevar algunos canales de televisión, mientras que en nuestros días un satélite es capaz de llevar cientos de ellos. Lo anterior ha sido posible debido a la utilización de nuevas tecnologías digitales.

Dentro de estas nuevas tecnologías se pueden mencionar los recientes avances en el área de procesamiento de señales, optimización del ancho de banda del canal, mejoras en los sistemas que integran un satélite, utilización de antenas más eficientes, diseño e integración de nuevos componentes electrónicos y su producción en masa.

Como parte inicial de este trabajo, en el capítulo 1 se presentan los conceptos básicos de una señal de televisión analógica, y su transmisión a través de medios convencionales. Además, se tratan los principios de la transmisión de señales via satélite, a fin de introducir al lector a los sistemas actuales de difusión por satélite.

En el capítulo 2 se muestran y ejemplifican los sistemas satelitales de transmisión de televisión analógica en la banda C. Estos sistemas fueron originalmente diseñados para alimentar a los sistemas de televisión por cable, sin embargo, su uso se extendió a los primeros sistemas de DTH. Actualmente también forman parte de la infraestructura necesaria para alimentar un sistema de DTH en la banda Ku.

El capítulo 3 se divide en dos partes. La primera describe los sistemas satelitales para la difusión de la televisión, tanto en la banda C como en la banda Ku, utilizados en Europa, América y Japón. En la segunda se explican los estándares más importantes a nivel mundial para la transmisión de televisión digital via satélite.

Los aspectos más relevantes acerca de los sistemas de DTH digitales, actualmente en operación en los E.U., se explican en el capítulo 4. Es importante destacar que algunos de estos sistemas fueron los primeros que aparecieron comercialmente en el mundo.

Una parte medular de los sistemas de DTH son las antenas de recepción, por lo cual el capítulo 5 está dedicado a la explicación de los parámetros relacionados con las antenas de recepción para sistemas de DTH.

Debido a la reciente introducción en Latinoamérica de los sistemas de DTH digital, en el capítulo 6, se describen las características generales de los sistemas de DTH, y en particular el funcionamiento a detalle del sistema DirecTV Latinoamérica. Al final de esta tesis se presenta, como apéndice, un ejemplo de los cálculos para un sistema de DTH utilizando el satélite Solidaridad 2.

En el capítulo 7 se describen las características de los sistemas de HDTV, su actual tendencia a emigrar a las tecnologías digitales y fusionarse con los sistemas de televisión por tierra, cable y satélite. Esta tecnología avanza en paralelo con la tecnología de DTH y se espera que estas tecnologías converjan. La tecnología de DBS ya cuenta con la capacidad de manejar HDTV, pero aún no está disponible masivamente, ni a precios accesibles.

La intención de este trabajo es presentar un panorama actual de los sistemas de televisión directa al hogar en el mundo, y sus perspectivas a futuro. Para esto fue necesario retomar de manera general los principales esquemas de difusión de televisión, considerando su desarrollo a través de los años, y presentar algunas de sus ventajas y desventajas.

La necesidad de escribir sobre este tema surge debido a la falta de material actualizado, que exponga de manera completa las tecnologías involucradas en los sistemas de DTH digital. En este trabajo se trata de manera especial, a los sistemas de DTH en E.U. y América Latina por ser estos de los primeros en aparecer en el mundo y los que más influencia tienen en México.

Para la elaboración de esta tesis se recurrió a fuentes reconocidas internacionalmente, que permiten el acceso a información tan actualizada como lo permite el rápido avance y desarrollo de estos nuevos sistemas. No es extraño ver en las noticias que un sistema ya cuenta con un nuevo satélite, que otro se ha mudado de satélite o que simplemente se ofrece un nuevo servicio de valor agregado.

Es importante notar que un sistema de DTH digital involucra muchas áreas de la ingeniería, por lo que para poder entender este trabajo se requieren conocimientos básicos de teoría electromagnética, guías de ondas, antenas, propagación, electrónica analógica y digital, procesamiento digital de señales, satélites, y procesos estadísticos por mencionar sólo algunas. Sin embargo, este hecho no ha impedido que se haya escrito abordando los temas con la profundidad necesaria.

Sergio Collazo Llerandi
Juan Popocatepetl Díaz Mazadiego
Rury Echavarría Ayuso

Características de una señal de televisión y métodos tradicionales de transmisión

1.1 Introducción y estándares en banda base

Desde que en 1923 V.K. Zworykin patentó el iconoscopio, la televisión ha experimentado innumerables mejoras tanto en su calidad de imagen como en su distribución. Uno de los avances más significativos corresponde a la transmisión de la señal de televisión vía satélite, la cual además de permitir hacer llegar la señal a una mayor distancia y tener más cobertura con un solo transmisor, mejora la calidad de recepción.

Tradicionalmente, la televisión se ha transmitido en forma analógica, pero en fechas recientes se han buscado nuevas formas de transmisión basadas en tecnologías digitales.

Existen dos tipos de transmisión de una señal de televisión: a través del espacio libre y por medio de cables.

Una señal de televisión (video y audio) en forma analógica ocupa alrededor de 6 MHz de ancho de banda como mínimo recomendable. Por lo tanto, si se quiere transmitir una mejor calidad de imagen, se necesitará un ancho de banda mayor. Ahora, si esta señal se quiere transmitir en forma digital, el ancho de banda necesario será mucho mayor que el anterior, pero se obtendrán ventajas como robustez de la señal contra el ruido y mayor facilidad para la transmisión del audio, como por ejemplo, opciones en diferentes idiomas. La robustez de la señal se deberá a que si un pulso es alterado por ruido, este ruido podrá ser eliminado, siempre y cuando no sea demasiado grande como para que haga que el receptor detecte un valor diferente al transmitido (cociente del nivel de umbral Eb/No). Sin embargo, como se verá en el capítulo 3, el ancho de banda que realmente se necesita en la práctica se reduce gracias a las nuevas técnicas de compresión digital.

A continuación se realizará primero una descripción de los estándares de televisión analógica, con el fin de poder compararlos posteriormente con los estándares de televisión digital.

La tabla 1.1 resume los estándares actuales de televisión analógica:

Tabla 1.1 Estándares de televisión analógica.

Región de uso	NTSC*	PAL**	SECAM***
	Estados Unidos Canadá Latinoamérica	Europa Occidental Australia	Francia Europa Oriental Ex- URSS
Entrelazado	2:1	2:1	2:1
Relación de Pantalla	4:3	4:3	4:3
líneas/cuadro	525	625	625
campos/segundo	59.94	50	50
Ancho de banda base [MHz]	6	8	8

* NTSC es el acrónimo de National Television System Committee. También se le llama CCIR-M para señales a color, y M para señales en blanco y negro. Este sistema fue aceptado en 1941 para televisión blanco y negro, y en 1954 se extendió a la televisión a color.

** PAL es el acrónimo de Phase Alternation Line, también llamado CCIR-B. Este sistema nació en el año de 1963.

*** SECAM es el acrónimo de Système Electronique Couleur Avec Memoire. Fue patentado en el año de 1956.

Se observa que el número de campos por segundo corresponde a la frecuencia de la energía eléctrica suministrada en cada área de uso. Para la señal a color en NTSC se utiliza el valor de 59.94 campos/segundo, en vez del valor original de 60 campos/segundo. Lo anterior se debe a que cuando se diseñó el sistema de televisión a color se necesitaba proponer un valor para la subportadora de color, de manera que la información de prominancia no tuviera distorsión provocada por la información de sonido. La solución fue mover la frecuencia de línea de 15750Hz a 15734.265Hz y con esto la frecuencia de 60 campos/segundo cambio a 59.94 campos/segundo. Esto fue necesario porque los aparatos receptores de la época contaban con un transformador paso banda de frecuencia intermedia para imagen y sonido con un filtro sintonizado a 4.5MHz.

El sistema NTSC es el más simple de todos desde el punto de vista de la electrónica, pero la calidad de imagen es mejor en los sistemas PAL y SECAM, lo que se refleja en la necesidad de un mayor ancho de banda.

La principal diferencia entre los tres estándares es el procesamiento de la información de color. Esto lleva a que los estándares sean incompatibles entre sí, y la conversión de uno a otro requiera de técnicas digitales. Para convertir una señal de NTSC a PAL o SECAM se requiere digitalizar la señal, realizar interpolaciones entre líneas para cambiar de 525 a 625 líneas, e introducir los retrasos necesarios para cambiar de 60 a 50 campos por segundo.

Las características del sistema NTSC se desarrollarán en la sección 1.2 del presente capítulo.

El sistema PAL fue desarrollado como una mejora al sistema NTSC. En el primer sistema, como su nombre lo dice, las señales de crominancia de líneas alternas tienen fase invertida, a fin de corregir de manera automática los errores por distorsión de fase presentes en el sistema NTSC; la muestra de la subportadora suprimida debe llevar la información que indique la fase de la crominancia en cada línea. En el sistema PAL, las señales de crominancia U y V ocupan 1 MHz en banda base, y se forman de manera similar a las señales I y Q del sistema NTSC.

El sistema SECAM transmite las componentes de la crominancia en forma secuencial y no de forma simultánea como los otros dos sistemas; para recrear la imagen a color se debe usar un dispositivo que retarde la señal de crominancia de la línea superior para que se sume con la de la línea inferior y así obtener la señal de crominancia completa. Debido a esto, presenta una resolución vertical inferior al sistema NTSC. Se emplea la modulación en frecuencia para la información de crominancia y no se suprime la portadora como en los otros dos sistemas.

1.2 Descripción de los componentes de una señal de video

En este caso se describirá el sistema NTSC; ya que es el utilizado en México.

La señal en banda base para la televisión está compuesta por señales de información visual, auditiva y señales de sincronización. La información visual se transmite en tres componentes a los que se les llama Y, I y Q, como se muestra en la figura 1.1.

La señal Y es de luminancia o intensidad, la cual corresponde únicamente a la señal de información visual requerida por los receptores monocromáticos.

Las señales I (in-phase) y Q (quadrature) son los componentes de crominancia, que es la información de color y de tinte de cada punto de la imagen, estas dos señales forman una señal modulada en cuadratura donde, su magnitud contiene la información de saturación de color y su ángulo contiene la información de tinte.

La señal de sincronización consiste en un pulso al final de cada barrido de línea para la sincronización horizontal, y una serie de pulsos al final del barrido de cada cuadro para la sincronización vertical. Para la demodulación de la información de color se incluye alguna sincronización adicional en los pulsos horizontales. La definición de los términos cuadro, campo y otros pueden consultarse en el glosario (Apéndice 1).

Las señales de luminancia y crominancia, y los pulsos de sincronización, requieren un ancho de banda base de 4.2 MHz para el estándar NTSC.

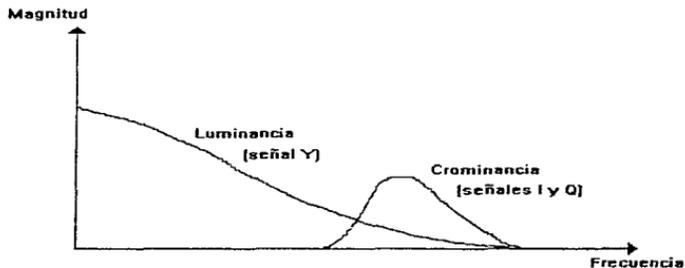


Fig.1.1 Espectro de frecuencias para las señales de luminancia y crominancia en banda base.

Para transmitir la información de crominancia se hace uso del hecho de que el ojo humano no puede apreciar colores si no hay la suficiente luminosidad. Esto permite al ancho de la señal de crominancia ser menor que el de luminancia. Las señales I y Q se transmiten dentro del ancho de banda de la señal y en modulación por cuadratura de DBLPS, modulando a una subportadora que las coloca en el extremo superior del espectro de la señal de luminancia, donde la magnitud de la señal de luminancia es relativamente pequeña, minimizando así la interferencia de la crominancia en la recepción de las imágenes en aparatos blanco y negro. La figura 1.2 muestra las señales Y, I, Q y la señal de video compuesto.

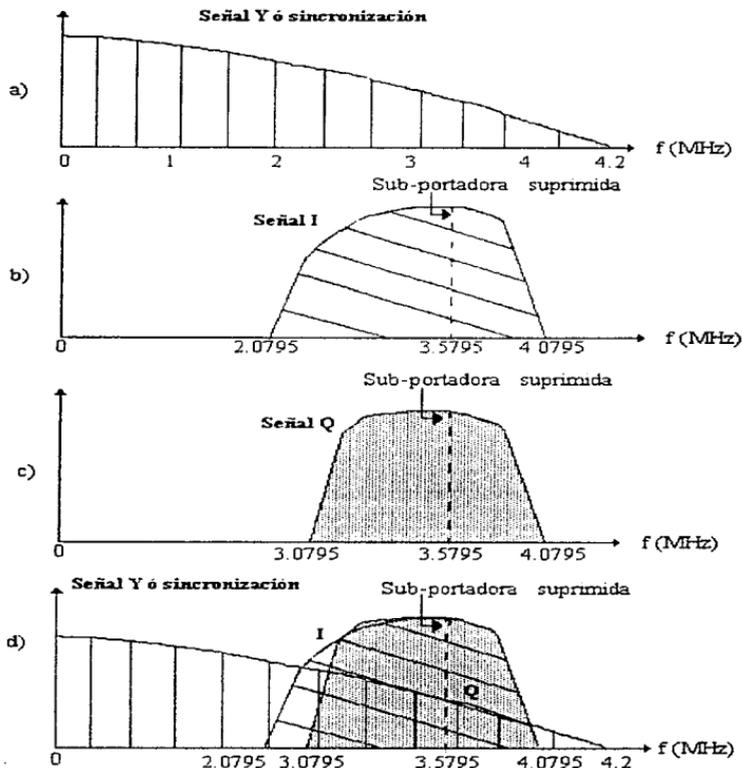


Fig 1.2 a) Señal de luminancia Y, b) Señal I c) Señal Q d) Señal de video compuesto.

En el sistema NTSC, bajo estudio en esta sección, se usa un solo oscilador fuente, de tal manera que las subportadoras I y Q tienen la misma frecuencia (Fig 1.2 b) y c)) pero un defasamiento de 90 grados . Este método se conoce como modulación en cuadratura (QM). La señal I es la señal de crominancia que modula la portadora en fase (0 grados de defasamiento).

La señal I tiene un ancho de banda base de 1.5MHz, se modula en BLV (banda lateral vestigial) obteniéndose una señal con una banda lateral inferior de 1.5MHz mas una banda lateral superior de 0.5MHz. La figura 1.3 muestra el proceso anterior.

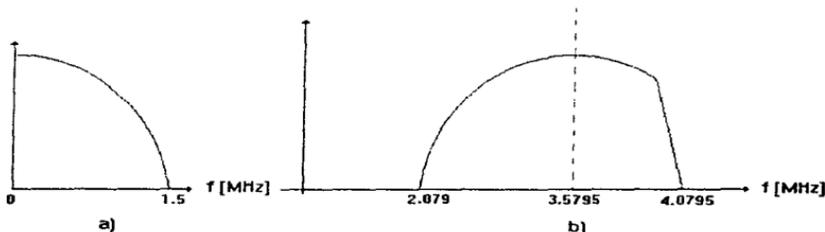


Fig 1.3 a) Señal I en banda base b) señal I en BLV

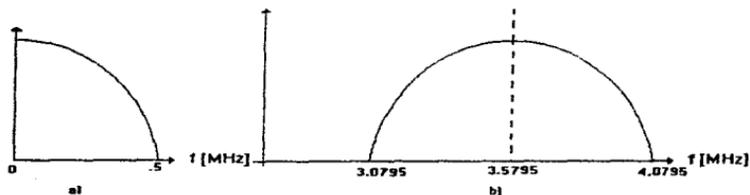


Fig 1.4 a) Espectro en banda base de la señal Q b) espectro de la señal Q en DBLPS

La señal Q tiene un ancho de banda base de 0.5 MHz; se modula en DBLPS. La figura 1.4 muestra la señal Q antes y después de modular.

Debido a que durante el proceso de modulación se suprime la subportadora, se debe transmitir una portadora de referencia de fase y frecuencia, de tal manera que se puedan demodular I y Q. Esta señal de referencia se transmite en forma de ráfagas de 8 a 11 ciclos de la subportadora de fase cambiada, transmitidos en la parte final del pulso de sincronía horizontal. En la figura 1.5 se puede observar la subportadora de referencia.

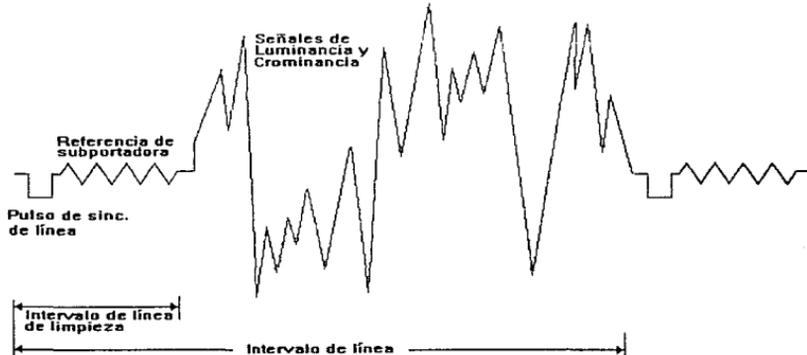


Fig.1.5 a) Señal de video y pulsos de sincronización.

La señal de color esta formada por los colores básicos de la luz: rojo, verde y azul. No hay que confundir esto con los colores azul, amarillo y rojo, que son los colores básicos de pigmento. En principio, se podrían utilizar tres señales de color para reconstruir la escena; pero ésta no es la mejor técnica, ya que la señal sería incompatible con la televisión monocromática y se requeriría un gran ancho de banda. Para evitar esto, es que se generan las tres señales (Y, I y Q) previamente mencionadas. El proceso matemático para crear dichas señales se describe en las ecuaciones 1.1.

$$\begin{aligned}
 Y &= 0.3R + 0.59G + 0.11B \\
 I &= 0.6R - 0.29G - 0.32B \\
 Q &= 0.21R - 0.52G + 0.32B
 \end{aligned}
 \tag{1.1}$$

La figura 1.6 muestra la obtención de las señales Y, I y Q por medio de una matriz M, a partir de las señales R, G y B. En la misma figura se puede apreciar como se modulan las señales de crominancia y como se introducen las señales de sincronización.

Las ecuaciones 1.2 y 1.3 muestran la obtención de las señales I y Q a partir de la señal de luminancia Y y las señales R y B.

$$I = 0.74(R - Y) - 0.27(B - Y) \tag{1.2}$$

$$Q = 0.48(R - Y) + 0.41(B - Y) \tag{1.3}$$

El receptor obtiene las siguientes señales diferencia a partir de las señales I y Q, recuperando los colores de la imagen. Las ecuaciones 1.4 muestran este proceso.

$$\begin{aligned}
 R - Y &= 0.96I + 0.62Q \\
 G - Y &= 0.28I + 0.65Q \\
 B - Y &= 1.10I + 1.70Q
 \end{aligned}
 \tag{1.4}$$

La señal de audio en banda base tiene un ancho de banda de 50Hz a 15KHz. Esta señal modula en FM a una subportadora de audio de 4.5MHz. Por lo tanto la señal de TV completa consiste en la señal de video en banda base debajo de una señal de FM en el espectro de frecuencia. La figura 1.7 muestra el espectro de una señal de televisión.

Los canales de audio de una señal de televisión en una transmisión convencional se modulan por separado. La información de audio, se recibe por dos canales, uno derecho (d) y otro izquierdo (i) y es separada en dos señales (i+d) e (i-d). La señal (i-d) se utiliza para modular en DBLPS a una subportadora de aproximadamente dos veces la magnitud de la máxima frecuencia audible (31.468 kHz). Esta señal DBLPS se suma entonces a la señal (i+d) y se usa para modular en frecuencia una subportadora de 4.5 MHz sobre la frecuencia de la portadora del transmisión de video. La figura 1.8 muestra el espectro del sonido en banda base.

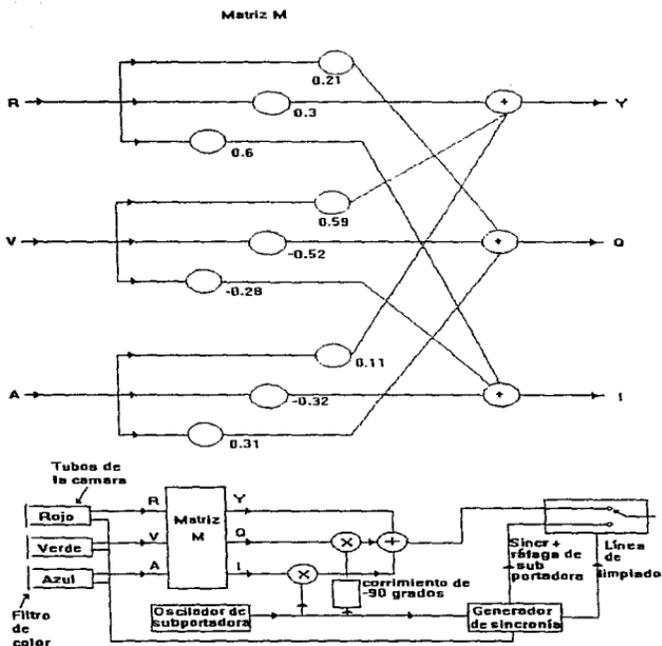


Fig 1.6 Obtención de las señales Y, I y Q a partir de los colores que entrega la cámara de video.

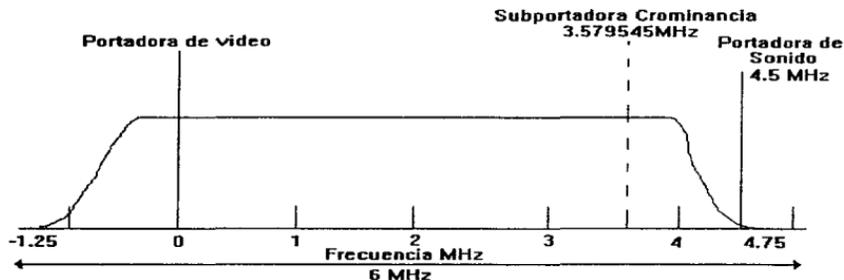


Fig 1.7 Señal de televisión en banda base.

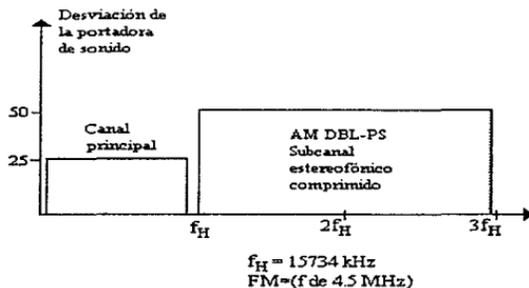


Fig.1.8 Sistema estereofónico para televisión

Canal principal : i+d ,0.05-15 kHz, 75 μ s de preénfasis, desviación de 25 kHz.
Subcanal estereofónico : i-d. 0.05-15 kHz, comprimido, desviación de 50 kHz.

1.3 Televisión radiada por tierra

En cada zona existe un número limitado de canales de televisión terrestre. La razón de esto son los costos de construcción y mantenimiento de una estación de televisión, así como el gasto extra debido al aumento de potencia necesaria en transmisiones en altas frecuencias (UHF), por lo que normalmente sólo se ocupan los canales de frecuencias bajas (VHF). Estos canales se radian desde un transmisor principal de alta potencia ubicado normalmente en un lugar elevado, o desde una estación repetidora de baja potencia que atiende a un área restringida.

Para la difusión de las señales de televisión terrestre se ocupan las bandas VHF (Very High Frequency) y UHF (Ultra High Frequency). Estas bandas permiten el uso del ancho de banda requerido para transmitir la información de audio y video descrita en la sección 1.2. El área de recepción de las transmisiones VHF y UHF se limita al horizonte óptico, esto es que la antena receptora tiene que "ver" a la antena transmisora. Si se desea aumentar el área de cobertura, se deberá elevar la torre de la antena transmisora para que el campo de vista aumente.

La intensidad de campo recibida dentro de la zona de cobertura depende de la frecuencia de transmisión, la potencia efectiva radiada, la altura de la torre, el tipo de terreno que existe entre las antenas transmisora y receptora, y las condiciones de propagación.

En la fig. 1.9 se ilustra el espectro electromagnético, así como la localización de las bandas de VHF y UHF.

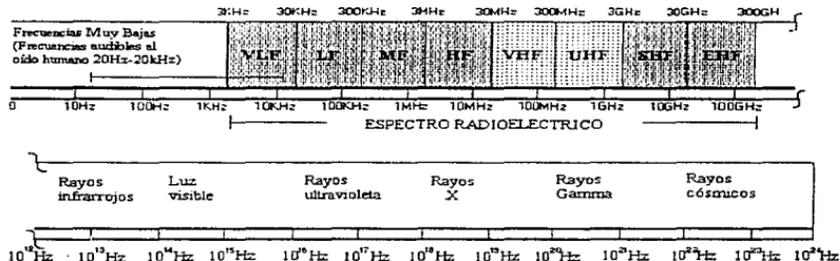


Fig 1.9 Espectro electromagnético

En la difusión de televisión analógica por tierra se utilizan las frecuencias entre 54 y 806 MHz como se indica en la figura 1.10.

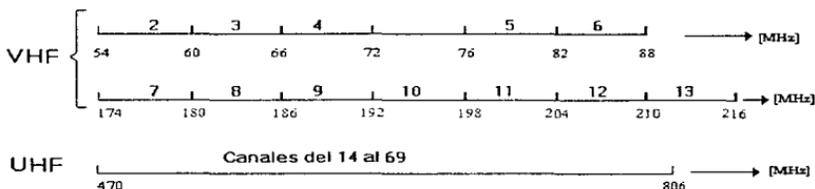


Fig 1.10 Localización de los canales en las bandas de VHF y UHF.

Entre mayor sea la frecuencia de transmisión mayor será la atenuación que sufra la señal por lo cual las emisoras de televisión deben tener una potencia radiada aparente adecuada según la frecuencia a la que se transmitan. Esta potencia no debe rebasar las siguientes intensidades máximas reglamentadas por la SCT:

- 100 kW para las estaciones operando en los canales 2 al 6
- 325 kW para las estaciones operando en los canales 7 al 13
- 5000 kW para las estaciones operando en los canales 14 al 69

El sonido se modula en frecuencia y para el video se utiliza la modulación en amplitud con banda lateral residual negativa, tal como se explicó en la sección 1.2. La separación de la portadora de sonido con relación a la portadora de imagen es de 4.5 MHz. El ancho de banda ocupado por una emisión de televisión es de 6 MHz, indistintamente de si la modulación es cromática o monocromática. A manera de ejemplo, la figura 1.11 muestra el espectro del canal 2 (54-60 MHz).

En el apéndice 2 se reproduce la tabla de asignación de frecuencias de los canales de televisión para uso terrestre, tal como aparece en el Diario Oficial de la Federación del 15 de Noviembre de 1993.

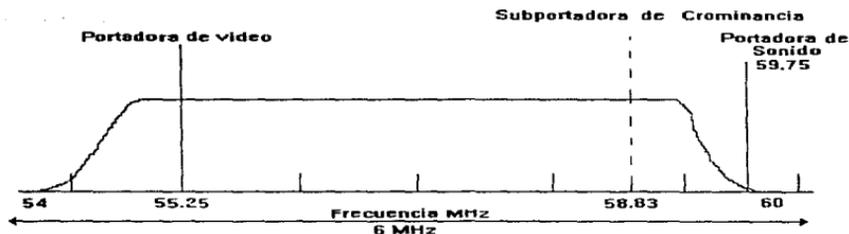


Fig 1.11 Espectro en frecuencia de una señal de televisión modulada para el canal 2 en el sistema NTSC

1.4 Televisión por cable

Tanto los sistemas de televisión por cable como los sistemas de recepción de antena comunitaria (CATV), usan cable coaxial para distribuir las señales de televisión, audio y datos a los hogares y establecimientos suscritos al servicio.

A las redes que sirven principalmente a los suscriptores residenciales se les conoce como redes de suscriptores, mientras que a las que sirven a usuarios de negocios, comerciales, educacionales y de gobierno son llamadas redes institucionales.

Las señales que se difunden por un sistema de televisión por cable pueden obtenerse de las siguientes maneras: de las emisiones de estaciones televisoras destinadas a ser recibidas por el público en general, del servicio de distribuciones de señales por satélite, ya sea de un enlace nacional o extranjero, señales que se conducen mediante enlaces de microondas y de las que se generan en el propio sistema.

En Estados Unidos, la televisión por cable comenzó en las áreas rurales en los 50s como medio para llevar televisión a sitios donde no había estaciones difusoras por aire. Estos servicios tenían tradicionalmente una capacidad de cinco canales y sólo llevaban tres. Durante los 60s se estableció hacia zonas en donde sí había algunas estaciones difusoras, pero había una red muy pequeña de éstas. La capacidad de canales también se incrementó a 12 ó 20. A mediados de los 70s, la distribución por satélite de programación de TV pagada hizo a la televisión por cable más apta para zonas urbanas. Los sistemas ofrecían una gran variedad de programas, incluyendo estaciones independientes de otras ciudades y televisión pagada.

Los sistemas de los 80s aumentaron su capacidad hasta 100 canales. Estos nuevos sistemas ya eran bidireccionales, permitiendo una programación de TV interactiva, recuperación de información, monitoreo doméstico, y transmisión de datos punto a punto. Algunos sistemas modernos pueden incluir una red institucional adicional a la red de suscriptor.

1.4.1 Componentes del sistema de televisión por cable

- Redes de suscriptores:

Un sistema tradicional de televisión por cable comprende cuatro elementos: 1) el extremo principal, que es el punto central de origen de todas las señales transmitidas, donde se concentran las señales y se procesan; 2) un sistema troncal, que es la arteria principal que lleva las señales a través de una comunidad; 3) un sistema de distribución, el cual es un puente entre la línea troncal y la distribución hacia los vecindarios para la distribución a los suscriptores; y 4) tendidos a los suscriptores, que son las líneas individuales que le entregan la señal finalmente a los suscriptores. La figura 1.12 muestra la configuración básica de una red de televisión por cable.

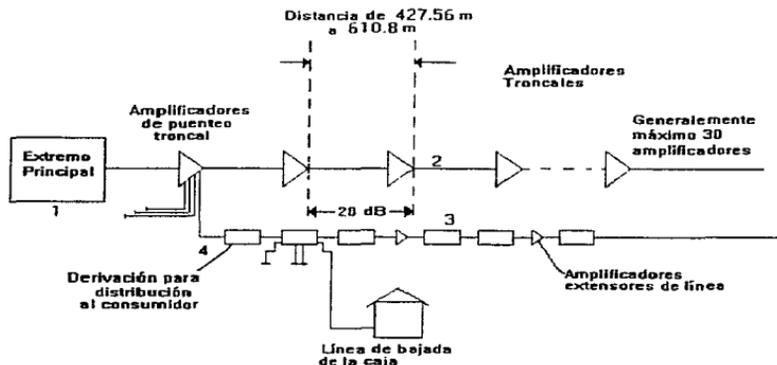


Fig 1.12 Configuración tradicional de una red de televisión por cable.

Dentro del hogar del suscriptor, el tendido debe terminar directamente en el televisor o en un convertidor si la televisión no soporta el número de canales del sistema. Para servicio de televisión pagada, las señales generalmente se transmiten en forma codificada, requiriéndose un decodificador en el extremo receptor. En algunos sistemas, los convertidores y los decodificadores son direccionables desde el extremo principal, permitiendo el control de los canales a los cuales el suscriptor tiene acceso.

El propósito principal de la televisión por cable es entregar una amplia gama de señales de TV de alta calidad a los suscriptores. Otra función es la de las comunicaciones interactivas; esta se ha desarrollado para permitir al suscriptor interactuar con el programa fuente y solicitar varios tipos de información (Ej. videotexto). Los sistemas interactivos pueden también dar capacidad de monitoreo para servicios tales como la seguridad doméstica y el sistema pago por evento. Con estos servicios, se requiere equipo adicional en el hogar del usuario o establecimiento. Para servicios de monitoreo, se requiere una terminal casera. Para recuperación de información, se necesita un decodificador de videotexto, y para transmisión de datos, se necesitan modems para cable.

-Redes Institucionales

Muchos sistemas nuevos de televisión por cable incluyen redes institucionales. Generalmente, estas redes tienen el mismo extremo principal que una red de suscriptores y siguen la misma ruta. La red institucional, sin embargo, generalmente no tiene sistema de derivación, ya que todos los usuarios son alimentados directamente desde la troncal.

-Supertroncales

En las redes que sirven a grandes áreas, las supertroncales se usan generalmente para unir troncales. Las supertroncales usan cable coaxial de un gran diámetro [3/4 -in (2 cm) o mayor] con amplificadores de alta calidad y baterías de respaldo. Usualmente se usa transmisión en FM para las señales de video para reducir la degradación de la señal.

-Construcción de la red

Los sistemas de distribución de televisión por cable se montan usualmente en lugares rentados como postes propiedad de la compañía de teléfonos o de electricidad. En algunos lugares como las zonas centrales o residenciales se montan bajo tierra, en conductos, o enterrados directamente, dependiendo de las condiciones del suelo y las normas de construcción locales.

-Capacidad del canal

Los nuevos sistemas de televisión por cable son capaces de transmitir señales en el rango de 5 a 400 MHz, aunque la mayoría de los sistemas actuales tiene un límite de frecuencia superior más bajo, del orden de 300 MHz. Generalmente, los sistemas son diseñados para transmisión bidireccional, con un rango del espectro asignado para cada una de las dos direcciones. En las redes de suscriptores, de los 5 a los 35 MHz se recibe

información (hacia el extremo principal), y de los 50 a 400 MHz se utiliza para mandarla (hacia el suscriptor), ya que se desea tener un mayor número de canales del extremo principal hacia los suscriptores. En las redes institucionales, sin embargo se desea tener igual número de canales en cada dirección, por lo tanto se recibe usualmente de los 5 MHz a los 150 MHz y se transmite de los 200 MHz hacia arriba.

El elemento principal en los amplificadores de televisión por cable es un amplificador híbrido, mismo que es muy eficiente. Por tal razón el límite de las frecuencias altas puede incrementarse. Recientemente se han desarrollado amplificadores que trabajan satisfactoriamente hasta los 500MHz y se podrán alcanzar frecuencias aún mayores en el futuro. Otros elementos de las redes de televisión por cable tales como divisores de línea pasivos, cable y convertidores ya están disponibles en el mercado con capacidades de 500 MHz y frecuencias incluso superiores.

En un sistema de 450 MHz, se puede transmitir un máximo de 54 canales de video en un solo cable. Muchas redes operan con un cable dual. Con esto la capacidad del sistema se duplica.

Además de la capacidad de video de los sistemas de televisión por cable, hay espacio para la banda de FM (88 a 108 MHz), varias señales de control y transmisión digital de datos. En la dirección hacia el extremo principal existe una capacidad teórica de 5 canales de video. Sin embargo, muy pocos sistemas utilizan más de uno de estos canales de video en la dirección de recepción. La mayoría de los usos para el espectro en la recepción son digitales.

En la tabla 1.2 se puede observar que los canales entre los 54 y 88 MHz se conocen como banda baja (canales del 2 al 6), de los 90 a los 118.75 MHz banda intermedia, y entre los 120 y 174 MHz se les llama banda media (canales del 14 al 22). Las frecuencias entre los 174 a 216 MHz son llamados de banda alta (canales del 7 al 13), y aquellos mas allá de los 216 MHz se denominan como superbanda e hiperbanda (del canal 23 en adelante).

En México las características de la señal de televisión deben cumplir con los requisitos derivados de las normas NTSC, y los parámetros establecidos por la misma SCT, que se listan en la tabla 1.3

El nivel mínimo procesable de señal proveniente de radiaciones directas de estaciones de televisión que puede ser utilizado para su distribución en los sistemas de televisión por cable, debe ser de -10 dBmV.

La capacidad del sistema puede ser de hasta 450 MHz

Tabla 1.2. Frecuencias de las portadoras para los canales de televisión por cable

CANAL	PORTADORA
SUB-BANDA	
T-7	7.00
T-8	13.00
T-9	19.00
T-10	25.00
T-11	31.00
T-12	37.00
T-13	43.00
BANDA BAJA	
2	55.25
3	61.25
4	67.25
5	77.25
6	83.25
BANDA INTERMEDIA	
95 ó A-1	91.25
96 ó A-4	97.25
97 ó A-3	103.25
98 ó A-2	109.25
99 ó A-1	115.25
BANDA MEDIA	
14 ó A	121.25
15 ó B	127.25
16 ó C	133.25
17 ó D	139.25
18 ó E	145.25
19 ó F	151.25
20 ó G	157.25
21 ó F	163.25
22 ó I	169.25
BANDA ALTA	
7	175.25
8	181.25
9	187.25
10	193.25
11	199.25
12	205.25
13	211.25

SUPERBANDA	
23 ó J	217.25
24 ó K	223.25
25 ó L	229.25
26 ó M	235.25
27 ó N	241.25
28 ó O	247.25
29 ó P	253.25
30 ó Q	259.25
31 ó R	265.25
32 ó S	271.25
33 ó T	277.25
34 ó U	283.25
35 ó V	289.25
36 ó W	295.25
HIPERBANDA	
37 ó AA	301.25
38 ó BB	307.25
39 ó CC	313.25
40 ó DD	319.25
41 ó EE	325.25
42 ó FF	331.25
43 ó GG	337.25
44 ó HH	343.25
45 ó II	349.25
46 ó JJ	355.25
47 ó KK	361.25
48 ó LL	367.25
49 ó MM	373.25
50 ó NN	379.25
51 ó OO	385.25
52 ó PP	391.25
53 ó QQ	397.25
54 ó RR	403.25
55 ó SS	409.25
56 ó TT	415.25
57 ó UU	421.25
58 ó VV	427.25
59 ó WW	433.25
60 ó XX	439.25
61 ó YY	445.25
62 ó ZZ	451.25

La frecuencia de la portadora de audio debe estar a 4.5 MHz arriba de la portadora de video del propio canal, con una tolerancia de ± 5 kHz. La tabla 1.3 resume las características que debe de cumplir una señal de televisión distribuida por cable.

Tabla 1.3 Características de la señal de televisión por cable

Ancho de Banda de la Señal preenfatzada I+D	15 kHz
Señal Modulante	I+D
Rango de Frecuencia	50 Hz a 15 kHz
Preenfasis	75 μ s
Desviación de la portadora de audio	25 kHz máximo

Señal modulante	I-D
Rango de frecuencias	50Hz a 15 kHz
Frecuencia de subportadora	31468 kHz
Método de modulación de subportadora (Amplitud modulada-doble banda lateral portadora suprimida)	AM-DBL-PS
Desviación de la portadora de audio	50 kHz máxima
Desviación de la portadora de audio canal principal+canal estereofónico	50 kHz máxima
Supresión de la subportadora estereofónica a una desviación de portadora de audio	0.25 kHz
La subportadora estereofónica deberá cruzar el eje del tiempo con una pendiente positiva simultáneamente con el cruzamiento de este etc por la subportadora piloto	
Diferencia (en grados de la frecuencia piloto) en los cruzamientos del eje del tiempo por las subportadoras piloto y estereofónica	3° máxima
Separación estereofónica (50 Hz a 15 kHz)	40 dB

SUBPORTADORA PILOTO

Frecuencia (señal en color)	15 734 kHz
Frecuencia(señal blanco y negro, sin burst)	5734kHz \pm 3 Hz
Suportadora piloto	0 dB mínimo
Relación piloto/interferencia banda de 1000Hz, desviación 5kHz	

Relación portadora a ruido

La relación portadora a ruido en el sistema no será menor:

- De 40 dB, para canales cuya señal corresponda a estaciones de televisión radiodifundida
- De 43 dB, para canales con cualquier otro tipo de señal

1.4.2 Sistemas bidireccionales

La transmisión de televisión por cable bidireccional se puede lograr usando dos cables, cada uno para transmitir en una dirección. Pocos sistemas utilizan esta técnica, por el alto costo que tiene. Un método más común utiliza división en frecuencia, utilizando un solo cable. La figura 1.13 muestra la configuración típica del extremo principal de una red bidireccional.

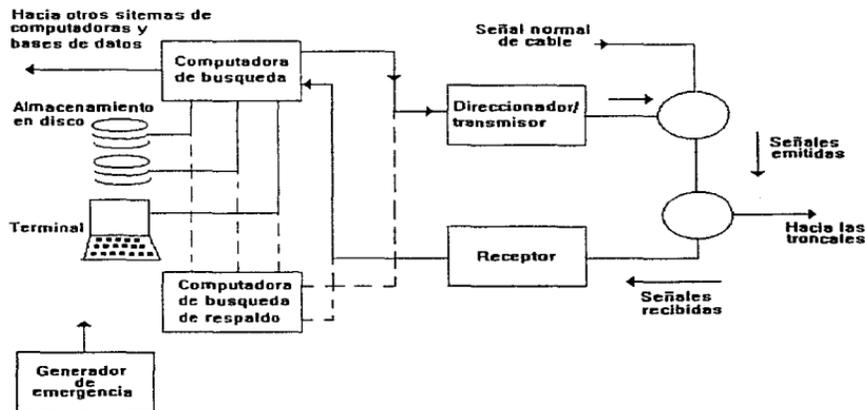


Fig 1.13 Extremo principal de una red tradicional bidireccional

1.5 Televisión vía satélite

El servicio de radiodifusión de televisión por satélite es conocido como DBS (Direct Broadcast Satellite) o BSS (Broadcast Satellite System).

La radiodifusión de televisión vía satélite requiere tanto de potencias elevadas como de grandes anchos de banda. El costo de dicha potencia y ancho de banda se justifica debido a que los módulos de recepción son sencillos, confiables y atractivos para el bolsillo del consumidor, lo cual da la posibilidad de tener millones de unidades receptoras en el área de servicio.

1.5.1 Clasificación de los sistemas de DBS

En Estados Unidos, los satélites que ofrecen servicios de televisión vía satélite se clasifican en tres categorías: de alta potencia, de media potencia, y de baja potencia. Las características que definen cada una de las tres categorías se muestran en la tabla 1.4.

Tabla 1.4 Características de las tres categorías de DBS en E.U.

	Alta potencia	Media potencia	Baja potencia
Banda	Ku	Ku	C
Frecuencia de bajada (GHz)	12.2-12.7	11.7-12.2	3.7-4.2
Frecuencia de subida (GHz)	17.3-17.8	14-14.5	5.925-6.425
Tipo de servicio	BSS	FSS	FSS
Uso primario	DBS	Punto a punto	Punto a punto
Uso secundario	Punto a punto	DBS	DBS
Posible interferencia en tierra	No	No	Sí
Posible interferencia por satélites adyacentes	No	Sí	Sí
PIRE máximo (dBW)	51-60	40-48	33-37

La característica principal con la que se define a cada una de las categorías es la PIRE máxima (Potencia Isotrópica Radiada Efectiva) del satélite. De la tabla 1.4 se observa que el límite superior de PIRE para la categoría de alta potencia es de 60 dBW y de 37 dBW para el de baja potencia. Esto da una diferencia de 23 dB, que representa un incremento de potencia de aproximadamente 200:1.

El propósito principal de los satélites de alta potencia es ofrecer servicios de DBS. Los satélites de media potencia están dedicados a servicios fijos punto a punto, aunque estos satélites pueden ser arrendados para ofrecer servicios de DBS. Estas dos categorías fueron designadas para el servicio de DBS ya que la potencia y frecuencia que se manejan permiten antenas pequeñas (60 a 90 cm). Además en la banda Ku no existen otro tipo de servicios asignados, como ocurre en la banda C donde están asignados enlaces terrestres de microondas, lo cual provoca interferencia. Por otro lado, la tecnología usada en la banda Ku permite reducir la interferencia entre satélites y entre canales adyacentes.

Los satélites de baja potencia no proveen servicios de DBS en forma oficial. Estos fueron diseñados para alimentar señales de televisión a redes de televisión por cable, pero tan pronto como la gente descubrió que podía recibir dichas señales de manera económica empezaron a aparecer los grandes platos parabólicos con diámetros de entre 2 y 3 metros, en los techos y jardines de las casas. En la figura 1.14 se observa la diferencia entre un sistema en banda C y uno en banda Ku.



a) Antena más equipo electrónico que funciona con frecuencias en la banda C



b) Antena más equipo electrónico que funciona con frecuencias en la banda Ku

Fig 1.14 Diferencia entre recepción en banda C (a) y en banda Ku (b)

La recepción casera de señales de televisión en la banda C está prohibida en varias partes del mundo, tanto por razones estéticas como por razones comerciales. Muchos canales en banda C fueron codificados a fin de prevenir el acceso no autorizado a estas señales, pero esto creó una nueva industria dedicada a violar la codificación de estos canales. En el capítulo 2 se tratarán a fondo tanto la transmisión y recepción de televisión en la banda C, así como la codificación de las señales.

1.5.2 Asignación de frecuencias para TV vía satélite

La RARC (Regional Administrative Radio Conference) estableció en 1983 (Sat-83) las características de los sistemas de DBS para la región 2 de la UIT (América). La tabla 1.5 resume las características de los sistemas de DBS en Estados Unidos.

Tabla 1.5 Características de los sistemas de DBS en E.U.

Parámetro	Alta potencia	Media potencia	Baja potencia
Frecuencia de bajada (GHz)	12.2-12.7	11.7-12.2	3.7-4.2
Cobertura del satélite	C y M*	C y M*	M*
Potencia del transpondedor (W)	100-260	15-45	5-10
PIRE del transpondedor (dBW)	51-58	40-48	33-37
Polarización	RHC y LHC	H y V	H y V
Número de transpondedores por satélite	8-16	10-16	24
Ancho de banda del transpondedor (MHz)	24	43-72	36
Diámetro de la antena en la estación terrena de recepción (m)	0.3 - 0.6	1-1.6	2.5-4.8
Temperatura del receptor (°K)	100-200	100-200	35-80

*C, cobertura completa de todos los estados de E.U. continental.

*M, cobertura media, sólo se cubre una parte de los E.U.

En 1983, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) estableció una separación de 2 grados para satélites en la banda C, y 1.5 grados para satélites de media potencia.

La WARC (World Administrative Radio Conference) definió el uso de la banda Ku (11.7-12.5) para los servicios de DBS en 1977 (WARC-BS-77), para las regiones 1 y 3. La UIT regula a nivel de recomendación el uso de la banda Ku para la radiodifusión directa de TV vía satélite. La tabla 1.6 muestra algunas de las características de los sistemas definidos por la WARC y la RARC.

Tabla 1.6 Características de los sistemas de DBS de alta potencia en las diferentes regiones.

Parámetro	WARC-BS	RARC SAT-93
Región	1 y 3	2
Separación entre órbitas	6°	9°
Polarización	Circular	Circular
Ancho de banda	27 MHz	24 MHz
Densidad de flujo de recepción:		
Individual	-103 dBW/m ²	-107 dBW/m ²
Comunitaria	-111 dBW/m ²	-N.D.
Niveles de interferencia:		
Cocanal	31 dB	28 dB
Canal adyacente	15 dB	13,6 dB

En 1983 la FCC designó la banda Ku para el uso del sistema de radiodifusión directa por satélite (DBS). Se asignó el ancho de banda de 17.3 a 17.8 GHz para el enlace de subida y 12.2 a 12.7 GHz para el enlace de bajada. Además se agregó el ancho de banda de 11.7 a 12.2 GHz para el enlace de bajada en casos donde no se provoque interferencia.

En México la SCT define las siguientes bandas para el uso de radiodifusión de televisión por satélite: 12.2-12.7GHz para el enlace de bajada y 17.3-17.8 GHz para el enlace de subida.

1.5.3 Evolución de los sistemas de TV vía satélite

Los primeros satélites comerciales a principios de los 80s transmitían noticias internacionales y eventos deportivos. En Estados Unidos, estos satélites se comenzaron a utilizar para alimentar a las redes de televisión por cable. En esta época, cualquiera con una estación terrena y acceso a un transpondedor podía transmitir programas de televisión. Esto provocó una caída en el costo de acceso al mercado de la televisión en E.U., por lo que organizaciones comerciales, religiosas y de educación comenzaron a ofrecer programas vía satélite para su redistribución por cable, como competencia de las redes ya existentes. Los radioaficionados comenzaron a construir receptores capaces de captar dichas transmisiones sin pagar, y poco después estos receptores fueron ofrecidos por los grandes fabricantes al público en general. Fue así como se generalizó el uso de equipos receptores de TV en la banda C, apareciendo con el tiempo sistemas de codificación que restringían el acceso a algunos canales de TV en la banda C. En la sección 2.2.3 se habla sobre la codificación y decodificación de canales de TV.

El primer país que comenzó a transmitir TV via satélite a los hogares en la banda Ku fue Japón a mediados de los años 80. Actualmente, este país cuenta con más de dos millones de receptores, unos con antenas parabólicas tipo offset y otras con antenas planas. Debido a las características de los sistemas en la banda Ku, Japón comenzó a usar esta banda para el servicio de televisión de alta definición (HDTV), introducido en su primera fase experimental a fines de 1991. Se espera que la transmisión de HDTV terrestre sea una realidad masiva hacia fines de 1998 en los Estados Unidos.

En Europa se iniciaron las transmisiones de TV en banda Ku poco después que en Japón. También se espera que en poco tiempo sea introducido el sistema HDTV en Europa. La introducción de este servicio ha demorado muchos años en todo el mundo, porque para poder recibir la imagen se requiere un aparato de televisión diferente al estándar actual (los televisores de HDTV usan el doble de líneas de barrido por imagen con relación a los televisores actuales). Es obvio que, además de la fuerte batalla que se presentará entre los fabricantes de televisores, las empresas que transmitan canales en HDTV tendrán que ofrecer programas excepcionales para convencer al público de que cambie su televisión estándar por una nueva HDTV. La descripción del sistema HDTV se ampliará en el capítulo 7.

En Estados Unidos los sistemas de DBS en banda Ku aparecieron a principios de los noventas. Un grupo de compañías estadounidenses, encabezadas por las empresas RCA y Hughes, iniciaron en 1994 transmisiones de televisión en la banda Ku, con satélites de muy alta potencia fabricados por la empresa Hughes. El primero de los cuatro satélites fue lanzado en diciembre de 1993 mediante un cohete Ariane y fue situado en la posición 101° Oeste.

Dicho sistema, llamado DirecTV, fue el primero de varios que existen actualmente. En México dichos sistemas tardaron más tiempo en aparecer, y no fue hasta finales de 1996 que la misma DirecTV comenzó a transmitir su programación compitiendo con SKY.

1.5.4 Características de la señal de TV via satélite

El formato de la señal de televisión via satélite difiere de la televisión convencional en que para generar el enlace de subida de microondas a un transpondedor en un satélite de comunicaciones, se le añaden a la señal de video compuesto dos o tres portadoras de FM a frecuencias de 6.2, 6.8 y/o 7.4 MHz las cuales llevan la información de audio. Mediante este procedimiento se crea una señal multiplexada por división en frecuencia, la cual se utilizará para modular la portadora de microondas de enlace de subida al satélite, produciendo una señal de radiofrecuencia con un ancho de banda de 36 MHz, valor que se derivará posteriormente. La existencia de tres señales de audio permite la transmisión en estéreo y/o en diversos idiomas.

Para modular las señales de televisión analógica generalmente se utiliza la modulación en frecuencia.

La difusión de televisión entre países utilizando diferentes estándares de transmisión requiere el uso de convertidores entre los diferentes estándares que fueron descritos en la sección 1.1. del presente capítulo.

A continuación se explican algunos de los conceptos principales usados en la transmisión de TV via satélite.

Ancho de banda de la señal

El ancho de banda teórico de una señal de FM es infinito, pero en un sistema satelital real, este ancho de banda es limitado por los amplificadores de frecuencia intermedia. Este ancho de banda es calculado por medio de la regla de Carson, ecuación 1.5.

$$B_{FI} = 2(\Delta f + f_m) \quad (1.5)$$

donde Δf es la desviación pico de la portadora y f_m es la frecuencia máxima de la señal en banda base.

Otro factor importante es la relación de desviación definida como $D = \Delta f / f_m$. Un valor típico de esta relación para una señal de video de 4.2 MHz es $D=2.56$. Esto nos da una desviación en frecuencia de 10.752 MHz y un ancho de banda de 29.9 MHz.

Se ha observado en la práctica que la regla de Carson, anteriormente mencionada se aleja de la realidad para relaciones de desviación $2 < D < 10$. En estos casos se usa la aproximación de la ecuación 1.6:

$$B_{FI} = 2(\Delta f + 2f_m) \quad (1.6)$$

En el caso del video, esta nueva aproximación da un valor de 38.3 MHz, en lugar de los 29.9 MHz obtenidos anteriormente. En la práctica, el ancho de banda requerido en un transpondedor para manejar esta señal es de 36 MHz.

Limitador

Este consiste en un amplificador de clase A de señal pequeña, el cual al irse a saturación y corte entrega una versión distorsionada de la señal de frecuencia intermedia recibida, eliminando así la modulación en amplitud provocada por el ruido térmico inherente a toda señal, así como señales de interferencia presentes en las bandas de frecuencia intermedia y ruido impulsivo. Estos circuitos recuperan una versión mejorada de la señal recibida, pero no pueden eliminar la modulación en fase provocada por el ruido térmico.

Relación portadora a ruido

La información del canal de televisión modula a una portadora C . La potencia de la portadora depende del PIRE del satélite, pérdidas por espacio libre, pérdidas por gases atmosféricos, pérdidas por conexiones, atenuación por lluvia y ruido captado por la antena de la estación terrena. La ecuación 1.7 relaciona las ganancias y pérdidas en el enlace de bajada a fin de calcular la relación portadora a ruido.

$$(C/N) = (P_{Tx} G_{Tx})(1/L)(1/L_{atm})(G_{Rx}/T)(1/kB) \quad (1.7)$$

Donde :

(C/N) Relación portadora a ruido

$(P_{Tx} G_{Tx})$ Pire del satélite

L Pérdidas por espacio libre

L_{atm} Pérdidas por los alimentadores en la estación terrena

G_{Rx}/T Figura de mérito de la estación terrena

$k = 1.38 \times 10^{-23}$ Constante de Boltzman

B Ancho de banda de la señal

Relación señal a ruido

Para poder garantizar un mínimo de calidad en la imagen de video se establece un umbral de recepción de F.M. para el nivel de (C/N) , el umbral tiene un valor típico entre 8 y 11dB, en la figura 1.15 se aprecia como crece el valor de (S/N) conforme crece (C/N) a partir de un valor umbral de (C/N) . Una vez que se rebasa este umbral la relación señal a ruido (S/N) se puede calcular mediante las ecuaciones 1.8 y 1.9:

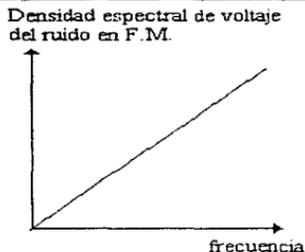


Fig 1.16 Densidad espectral de voltaje del ruido en F.M.

Con el fin de contrarrestar el efecto del ruido sobre las altas frecuencias, el filtro de preénfasis antes de la modulación incrementa la amplitud de las componentes en altas frecuencias de la señal de T.V. como se aprecia en la figura 1.17. Después de la modulación el filtro de deénfasis, cuya ganancia sigue una ley inversa a la de preénfasis, reduce la amplitud de las altas frecuencias tanto de la señal como del ruido, como se observa en la figura 1.18. La señal se recupera sin ninguna distorsión espectral, pero la potencia del ruido (en el ancho de banda de la transmisión) se reduce. De esta manera se mejora la relación señal a ruido. Las mejoras de (S/N) se encuentran del orden de 3 dB después de aplicar el énfasis.

Las características de preénfasis y deénfasis se encuentran en las recomendaciones CCIR 405-1 de 1982.

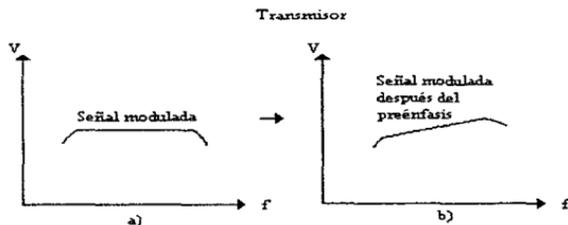


Figura 1.17 Diferencia en la relación voltaje frecuencia de una señal sin preénfasis a) y con preénfasis b)

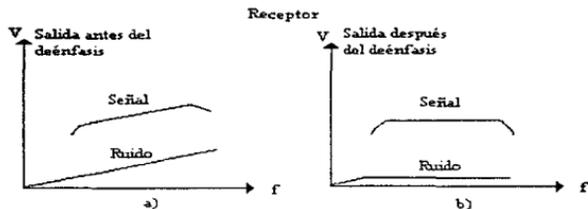


Fig 1.18 a) y b) Efecto del deénfasis en la señal y ruido en la salida del receptor. El deénfasis cancela el preénfasis para la señal mientras atenúa el ruido en el receptor.

Factor de ponderación

Esta es la manera en la cual el espectro del ruido blanco tiene que ser modificado tomando en cuenta la respuesta en frecuencia de los dispositivos de salida, y los efectos subjetivos del ruido percibidos por el observador. Esto es la respuesta no uniforme que presenta el ojo humano al ruido blanco en el ancho de banda del video.

Este factor tiene valores de 11.7 dB para T.V. de 525 líneas y 11.2 dB para T.V. de 625 líneas, según CCIR.

Factor de mejoramiento:

La tabla 1.7 muestra el efecto combinado de la ponderación y el énfasis en el sistema de 525 líneas (NTSC).

Tabla 1.7 Factores de mejora en el sistema de 525 líneas.

Sistema	Ancho de banda (banda base)	Preénfasis	Deénfasis	Factor de ponderación	Mejora total a (S/N)
525	4.2 MHz	-10 dB	12.9 dB	9.9 dB	12.8 dB
525 Unificado	5 MHz	-10 dB	13.1 dB	11.7 dB	14.8 dB

En la tabla 1.7 se muestran dos renglones para el sistema NTSC, el primero considera un ancho de banda base de video de 4.2 MHz. La segunda columna corresponde al mismo sistema NTSC, pero con un ancho de banda de video estándar de 5MHz. Este ancho de banda es el usado en el sistema unificado, es decir, es el que se usa para todos los sistemas.

Calidad de la señal de T.V.

La CCIR define 5 grados de calidad de imágenes de televisión transmitidas vía satélite, en base a su (S/N).

Tabla 1.8 Grados de calidad de imágenes. CCIR. Rec. 500

Nivel	Calidad	Tipo de fallas	SNR dB
5	Excelente	imperceptibles	>48
4	Buena	poco perceptibles	42
3	Aceptable	ligeramente molestas	38
2	Pobre	molesta	34
1	Mala	muy molesta	<30

Polarización

Con el fin de aprovechar al máximo el ancho de banda disponible, los satélites utilizan el reuso de frecuencias. Esto se logra transmitiendo señales con polarizaciones ortogonales (vertical y horizontal) o circulares con sentido de giro opuesto. Una antena polarizada verticalmente no recibirá una señal polarizada horizontalmente y una antena con polarización circular derecha no recibirá una señal con polarización circular izquierda.

Lo anterior no se cumple del todo en la realidad a causa de los siguientes problemas:

Debido a la forma de las antenas parabólicas, las corrientes que se inducen en el plato tienen forma curva, por lo que se presentan componentes verticales y horizontales de la señal aun cuando la onda incidente sea solo horizontal o vertical. Lo anterior provoca que la antena receptora presente un patrón de recepción para la señal deseada (co-polar) y otro para la señal no deseada (polarización cruzada).

Depolarización por lluvia: Una señal polarizada linealmente se puede descomponer en una componente vertical y otra horizontal. La lluvia atenúa en diferente cantidad a la polarización horizontal que a la vertical, esto provoca un giro en la polarización de la señal.

Rotación de Faraday: Cuando las señales pasan a través de la ionosfera sufren un giro debido a la orientación de los iones provocada por el campo magnético de la tierra. Este fenómeno desaparece arriba de los 10 GHz. Para frecuencias de 4 GHz se pueden tener giros de hasta 9° y para 6 GHz hasta de 4°.

Algunos de los problemas anteriores se pueden compensar con sistemas de seguimiento de polarización o ajustes en el alimentador de la antena. No obstante la recepción de señales con polarización opuesta no se puede eliminar del todo.

Existen dos medidas para cuantificar los efectos de la interferencia por polarización: Discriminación de polarización cruzada (DPC) y Aislamiento de polarización (AP). Las ecuaciones 1.10 y 1.11 se utilizan para calcular estas dos cantidades.

$$DPC = 20 \log \frac{E_{11}}{E_{12}} \quad (1.10)$$

$$AP = 20 \log \frac{E_{11}}{E_{21}} \quad (1.11)$$

La figura 1.19 muestra las componentes de las señales usadas en las ecuaciones 1.10 y 1.11

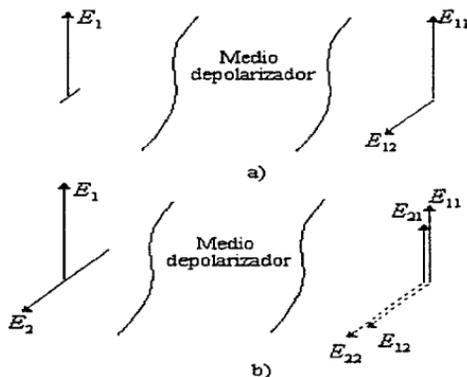


Fig 1.19 a) Discriminación de polarización b) Aislamiento de polarización.

El uso de polarización circular elimina la necesidad de ajustar el LNB para recibir polarizaciones lineales. Además la polarización circular no es objeto de la rotación de Faraday, rotación por campos magnéticos terrestres ó rotación por tormentas magnéticas.

La utilización de polarización circular permite obtener niveles de polarización cruzada más bajos que si se usara polarización lineal. Esto permite que los satélites de alta potencia de DTH puedan estar más cercanos.

Interferencia

La señal que recibe una estación terrena puede ser afectada por la interferencia.

En las transmisiones satelitales en la banda C existe interferencia proveniente de sistemas terrestres trabajando en la misma banda.

En general se pueden distinguir dos tipos de interferencia: interferencia cocanal e interferencia de canal adyacente.

Interferencia cocanal: Este tipo de interferencia se debe a la degradación causada por señales interferentes que aparecen dentro del mismo ancho de banda de la señales, estas señales pueden ser originadas por transmisiones accidentales, por una discriminación insuficiente en sistemas de polarización lineal y/o por señales captadas por lóbulos laterales de las antenas.

Interferencia de canal adyacente: Esta interferencia es causada por señales provenientes de canales adyacentes los cuales presentan un desborde espectral sobre el canal interferido.

La UIT definió, en el reporte CCIR-634-2 de 1984, los niveles de interferencia permisibles para la transmisión de televisión analógica vía satélite, en términos del radio de protección. Este último esta definido como el cociente mínimo aceptable entre la energía de la portadora y la energía de la interferencia, este valor asegura que el grado de degradación en la calidad de la imagen sea apenas perceptible.

Los valores del radio de protección (PR) oscilan entre 20 y 27 dB, dependiendo del tipo y calidad del sistema.

En el caso de la televisión digital la degradación de la imagen se presenta sólo después de que los niveles de interferencia han rebasado un determinado umbral. Pasando este umbral la imagen decae rápidamente.

La tabla 1.9 muestra los radios de protección, entre canales digitales, requeridos para diferentes tasas de código convolucional.

Tabla 1.9 Radios de protección para canales de T.V. digital via satélite.

Tasa del código convolucional	Radio de protección (Interferencia cocanal) dB	Radio de protección (Interferencia de canal adyacente) dB
1/2	10.9	6.9
2/3	12.6	8.6
3/4	13.7	9.7
5/6	14.8	10.8
7/8	15.7	11.7

Satélites transmisores y estaciones terrenas de recepción de televisión analógica en la banda C

2.1 Satélites transmisores de televisión en la banda C

La televisión via satélite en la banda C (4-6 GHz) fue pensada inicialmente para alimentar a los sistemas de cable, pero gracias a las facilidades tecnológicas (satélites con mayor potencia de transmisión y estaciones terrenas con mejores amplificadores de bajo ruido) la gente pudo recibir dichas transmisiones en sus hogares con equipos de bajo costo. La tabla 2.1 muestra los principales satélites que actualmente transmiten televisión en banda C en el área de América (Región 2 de la UIT).

Tabla 2.1 Algunos de los principales satélites geostacionarios que transmiten en banda C en América y su localización en el plano ecuatorial.

PAS 3R	43°Oeste	Spacenet 4/DBS 1/2/3	101°Oeste
PAS 1	45°Oeste	GE 1(W1)	103°Oeste
Intelsat 709	50°Oeste	Anik E2 (E2)	107°Oeste
Intelsat 706	53°Oeste	Solidaridad 1 (SD 1)	109°Oeste
Brazilsat B1	70°Oeste	Anik E1 (E1)	111°Oeste
Galaxy 6	74°Oeste	Morelos 2 (M2)	116°Oeste
GE2 (W2)	85°Oeste	Telstar 303 (T3)	120°Oeste
Spacenet 3R (S3)	87°Oeste	Galaxy 9	123°Oeste
Telstar 402R (T4)	89°Oeste	Galaxy 5	125°Oeste
Galaxy 7 (G7)	91°Oeste	Satcom C3	131°Oeste
Galaxy 3R (G3)	95°Oeste	Galaxy 1R (G1)	133°Oeste
Telstar 302	97°Oeste	Satcom C4 (C4)	135°Oeste
Galaxy 4 (G4)	99°Oeste	Satcom C1 (C1)	137°Oeste

Para poder describir el sistema de transmisión y recepción de televisión vía satélite, se tomará como ejemplo el satélite Galaxy 5. Este satélite se localiza en la longitud 125° Oeste. El sistema de comunicaciones del satélite tiene 24 transpondedores, cada uno con una potencia de 16 watts. La tabla 2.2 muestra la asignación de las frecuencias de los enlaces de subida y bajada de cada uno de los 24 transpondedores, así como la alternancia de polarización, a fin de reducir la interferencia entre canales adyacentes (crosstalk).

Tabla 2.2 Asignación de frecuencias del Satellite Galaxy 5

Canal (transpondedor)	Polarización	Enlace de subida (MHz)	Enlace de bajada (MHz)	F.I. (MHz)
1	H	5945	3720	1430
2	V	5965	3740	1410
3	H	5985	3760	1390
4	V	6005	3780	1370
5	H	6025	3800	1350
6	V	6045	3820	1330
7	H	6065	3840	1310
8	V	6085	3860	1290
9	H	6105	3880	1270
10	V	6125	3900	1250
11	H	6145	3920	1230
12	V	6165	3940	1210
13	H	6185	3960	1190
14	V	6205	3980	1170
15	H	6225	4000	1150
16	V	6245	4020	1130
17	H	6265	4040	1110
18	V	6285	4060	1090
19	H	6305	4080	1070
20	V	6325	4100	1050
21	H	6345	4120	1030
22	V	6365	4140	1010
23	H	6385	4160	990
24	V	6405	4180	970

Las frecuencias centrales del enlace de bajada van de 3.720 a 4.180 GHz, lo cual junto con las bandas de guarda da un ancho de banda de 500 MHz, en el cual se pueden acomodar 24 canales de televisión, cada uno de 36 MHz. Esto se logra gracias a que se maneja tanto polarización vertical como horizontal y de esta forma se puede hacer un reuso de frecuencias. A continuación se presenta el plan de frecuencias en banda C del satélite Galaxy 5.

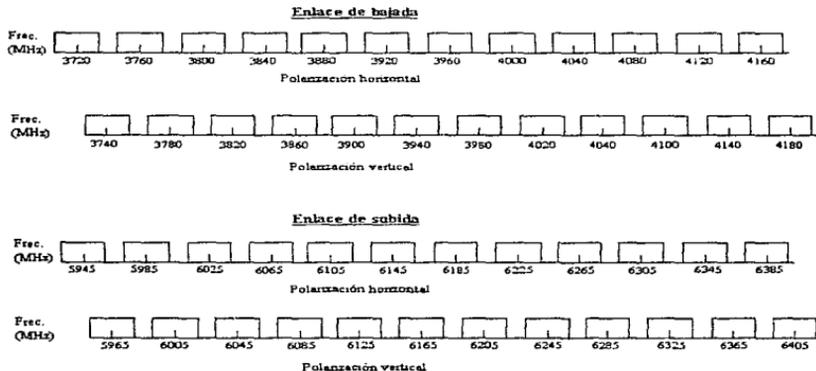


Figura 2.1 Distribución de frecuencias en los 24 transpondedores del satélite

2.1.1 Sistema de satélites Solidaridad

El sistema Solidaridad se compone de dos satélites modelo HS-601 fabricados por la compañía Hughes Aircraft. El Solidaridad I ocupa la posición orbital 190.2° O, mientras que el Solidaridad II ocupa la posición 113.0° O. Ambos satélites cuentan con carga útil en las bandas C, Ku y L.

En la banda C se cuenta con un total de 12 transpondedores de 36 MHz y 6 de 72 MHz operando en polarización horizontal/vertical y vertical/horizontal respectivamente.

Para servicios en las bandas C, Ku y L se definen las 5 áreas o regiones de cobertura, las cuales se explican en la tabla 2.3:

Tabla 2.3 Regiones de cobertura del sistema Solidaridad

Región	Banda	Cobertura
R1	C	México, Sur de los E.U.A., Guatemala, Belice, Honduras y El Salvador.
R2	C	Región 1, sur de Florida, El Caribe, Centroamérica, Colombia y Venezuela.
R3	C	Sur de Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Paraguay, Uruguay, Chile, Oeste de Brasil y Argentina.
R4	Ku	México, Sur de E.U., Guatemala y Belice.
R5	Ku	Sureste de Canadá, La Habana y las ciudades más importantes de E.U.
R6	L	México y su mar patrimonial

A diferencia del satélite Galaxy 5 descrito en la sección anterior, el Solidaridad 1, ofrece diversos servicios, además de televisión en la banda C como se muestra en tabla 2.4.

Tabla 2.4 Capacidad instalada en los satélites solidaridad

Región	Banda	No. de TxP's	BW (MHz)	PIRE (dBW)*	Servicios Recomendados
R1	C	SOL-1	36	37.50	<ul style="list-style-type: none"> Distribución de señales analógicas : telefonía , televisión o teleaudición Distribución de señales analógicas digitales , voz y/o datos, televisión y teleaudición
		4			
		6	72	40.50	
		SOL-2	36	37.50	
2					
6	72				
R2	C	SOL-1	36	37.00	<ul style="list-style-type: none"> Distribución de televisión analógica y teleaudición digital Redes digitales de voz y datos
		4			
		SOL-2	36		
6					
R3	C	4	36	37.00	<ul style="list-style-type: none"> Distribución de televisión analógica y teleaudición digital Redes digitales de voz y datos

*PIRE de saturación, disminuye al introducirse más de una portadora en el transpondedor (deberá considerarse un BACK-OFF).

Características del sistema en la banda C

El rango de frecuencias en la banda C es de 5.925 a 6.425 GHz para el enlace ascendente y de 3.7 a 4.2 GHz en el enlace descendente. Los canales angostos han sido diseñados para recibir de la región R1 con polarización horizontal y transmitir hacia la región R1 con polarización vertical. Además, esta banda cuenta con selección de haces para las regiones R2 y R3 como se muestra en la tabla 2.5.

Los canales amplios están diseñados para recibir únicamente desde R1 con polarización vertical y transmitir únicamente hacia R1 con polarización horizontal, como se aprecia en la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Cobertura y polarización de los transpondedores en la banda C

Banda	No. de TxP's	BW (MHz)	Cobertura (Región)	Polarización	
				Enlace Ascendente	Enlace Descendente
C	SOL-1				
	6	72	R1	Vertical	Horizontal
	12	36	R1, R2, R3	Horizontal	Vertical
	SOL-2				
	6	72	R1	Vertical	Horizontal
	6	36	R1 y R3	Horizontal	Vertical
	6	36	R2	Horizontal	Vertical

En el Solidaridad 2, los transpondedores 2N, 4N, 6N, 8N, 10N y 12N (ver figura 2.2) cubren la región 2 en forma permanente. Los transpondedores restantes de la banda C, tienen el mismo esquema de conmutación que el Solidaridad 1.

Como una tendencia para incrementar la capacidad de los satélites se usa la polarización ortogonal. La figura 2.2 muestra como se dividen los 500 MHz de ancho de banda en transpondedores de 36 y 72 MHz; si no se usara la polarización ortogonal sólo se podrían acomodar 12 transpondedores de 36 MHz ó 6 de 72 MHz. A fin de evitar interferencia y establecer bandas de guarda las frecuencias centrales de cada transpondedor se separan 40 MHz.

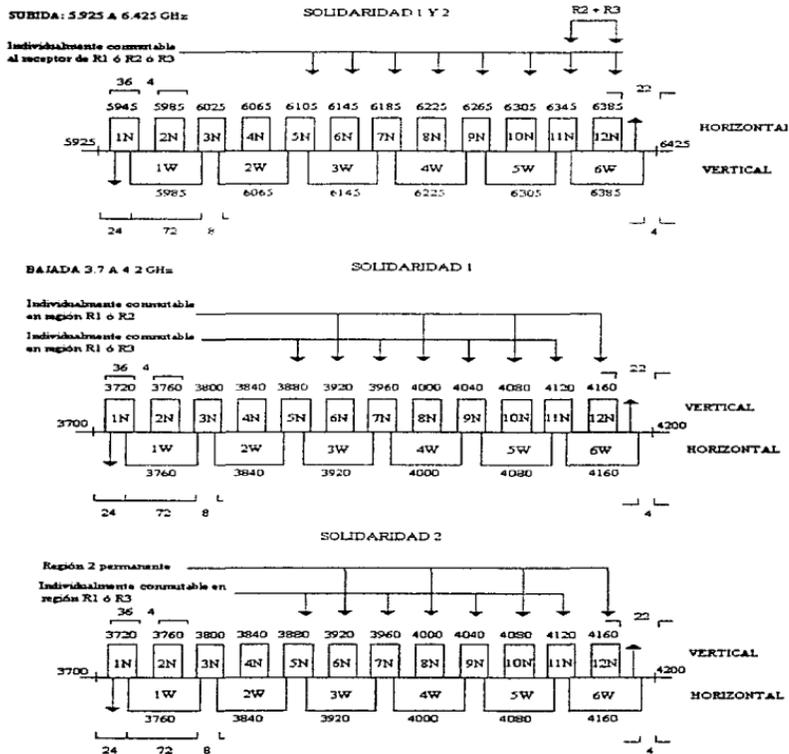


Fig.2.2 Plan de frecuencia en la banda C para los satélites Solidaridad I y II

Subsistema de comunicaciones

La parte más crítica en el diseño de un satélite de comunicaciones es el enlace del satélite con la estación terrena de recepción. La potencia de salida del satélite es limitada, por lo que la estación terrena que se encuentra a 36000 km de distancia recibe una potencia en el rango de 10^{-10} W.

El subsistema de comunicaciones lo conforman las antenas de recepción y los transpondedores. En la figura 2.3 se ilustra un diagrama de bloques del subsistema.

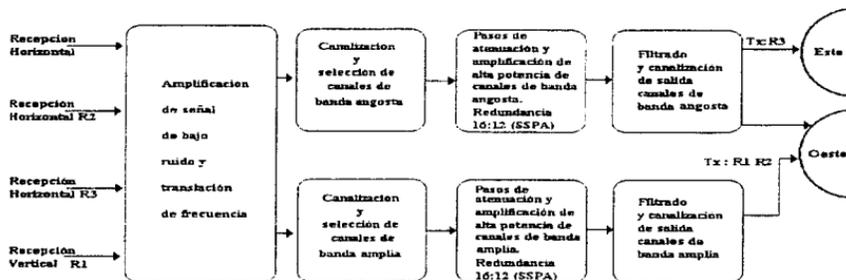


Fig 2.3 Diagrama de bloques del repetidor en la banda C para el sistema Solidaridad

Transpondedores

Los transpondedores son alimentados con señales de una o más antenas y envían sus salidas a una matriz de conmutación que dirige la señal de cada transpondedor a la antena adecuada. El transpondedor consta de un filtro paso bandas que selecciona la frecuencia de un canal específico, y un convertidor de bajada que cambia la frecuencia de 6 GHz a la entrada a 4 GHz a la salida, como se muestra en la figura 2.4.

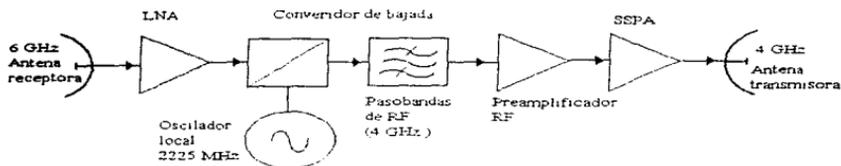


Fig 2.4 Diagrama de bloques de un transpondedor

Los filtros de los transpondedores deben cumplir con requerimientos estrictos ya que deben rechazar de manera eficiente las frecuencias no deseadas, tales como los productos de intermodulación, además los rizados del filtro en la banda de paso tienen que reducirse al mínimo. Después de los filtros se encuentran una serie de ecualizadores que suavizan las variaciones en amplitud y fase dentro de la banda de paso. Las variaciones de fase dentro de la banda de paso producen distorsión por retraso de grupo. Dicha distorsión es problemática sobre todo en señales de FM. Debido a que la televisión se transmite en FM se necesitan ecualizadores de retraso de grupo en los transpondedores dedicados a la transmisión de televisión.

En la tabla 2.6 se muestran las características del subsistema de comunicaciones de los satélites Solidaridad.

Tabla 2.6
Características del Subsistema de Comunicaciones de los Satélites Solidaridad

Descripción	Características
No. de transpondedores	12 de 36 MHz 6 de 72 MHz
Espaciamiento de transpondedores	40 MHz (N) 80 MHz (W)
Potencia promedio de salida	PIRE 37.5 dBw (N) 40.0 dBw (W) 16 SSPA'S de 10 a 16 Watts 8 SSPA'S de 14.4 Watts
Bandas de frecuencia (MHz) Transmisión Recepción	3.700 - 4.200 5.925 - 6.425
Capacidad del atenuador	0-14 dB en pasos de 2 dB

Sistema de antenas

Para transmitir las señales de comunicación se utilizan antenas de apertura de tipo parabólico. Este tipo de antenas se alimentan por una o más antenas de corneta. A fin de obtener la máxima ganancia es necesario generar una onda plana en la apertura de la antena, esto se logra seleccionando una forma para el reflector que permita tener longitudes iguales para cualquier trayectoria entre el alimentador y la apertura de la antena, de manera que toda la energía radiada por el alimentador y reflejada por el plato llegue al área de apertura con el mismo ángulo formando una onda de fase uniforme. La forma del reflector que permite lo anterior es el paraboloide.

El paraboloide es junto con la antena de corneta la forma más usada de antenas de apertura. En algunos satélites se modifica el reflector parabólico y los arreglos de las antenas de alimentación a fin de obtener patrones de radiación que tengan una forma semejante a la del área de cobertura deseada.

El sistema de antenas lo conforman dos reflectores, cada uno está conformado por dos superficies de reflectores intersectadas que permiten el aislamiento de las polarizaciones utilizadas sin afectar su rendimiento, montados uno en el lado Este y otro en el lado Oeste del cuerpo del satélite. ver figura 2.5.

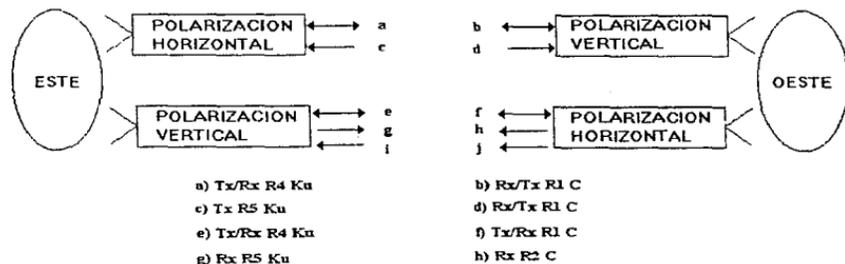


Fig 2.5 Diagrama funcional del sistema de antenas de los satélites Solidaridad

Amplificador de Potencia de Estado Sólido (SSPA)

Este amplificador tiene la capacidad de proporcionar hasta 16 Watts de potencia de salida de RF, la potencia de salida puede ser seleccionada a menor nivel sin afectar sus parámetros de funcionamiento. En el Solidaridad 2, los SSPA's están provistos de un limitador de potencia a la entrada para evitar la saturación, dicho limitador puede ser controlado desde la estación de control en tierra.

Además los SSPA's proporcionan una mejor respuesta lineal, y una mayor eficiencia en RF, disminuyendo el consumo de potencia y disipación térmica, y tiene una confiabilidad propicia para satisfacer los 14 años de vida especificados.

Especificaciones de los transpondedores de la banda C para transmisión de televisión

En la tabla 2.7 y 2.8 se muestran los parámetros de operación de los transpondedores en la banda C que se ocupan para la transmisión de televisión.

Tabla 2.7 Parámetros de Operación del Sistema de Satélites Solidaridad
Banda C Transpondedores Angostos (Televisión)

Servicio	TV
Parámetros de Operación	
Back Off de entrada de multiportadora (MIPBO) [dB]	1.0
Back Off de salida de multiportadora (MOPBO) [dB]	0.3
ATP (dB)	10.0
<i>Densidad de interferencia</i>	
Satélite adyacente	
Ascendente (dBW/Hz)	-112.0
Descendente (dBW/Hz)	-17.0
<i>Polarización Cruzada</i>	
Ascendente (dB/Hz)	-116.0
Descendente (dB/Hz)	-107.0
<i>Canales Adyacentes</i>	
Descendente (dB/Hz)	-110.0

Tabla 2.8 Parámetros de Operación del Sistema de Satélites Solidaridad
Banda C Transpondedores Amplios (Televisión)

Servicio	SCPC/TV	TV/FDM
Parámetros de Operación		
MIPBO (dB)	3.8	2.9
MOPBO (dB)	2.3	2.0
ATP (dB)	10.0	10.0
<i>Densidad de interferencia</i>		
Satélite adyacente		
Ascendente (dBW/Hz)	-117.0	-115.0
Descendente (dBW/Hz)	-18.0	-21.0
Polarización Cruzada		
Ascendente (dB/Hz)	-110.0	-110.0
Descendente (dB/Hz)	-109.0	-21.0
Canales Adyacentes		
Descendente (dB/Hz)	-110.0	-110.0
Intermodulación		
Ascendente (dB/Hz)	-106.0	-130.0
Descendente (dB/Hz)	-130.0	-130.0

Cobertura del satélite

Al calcular la potencia de la señal recibida por la estación terrena, es importante conocer la localización de la estación dentro de las huellas de cobertura, lo anterior es a fin de tener el PIRE correcto. Si se conoce el patrón, es posible estimar la ganancia de la antena en una cierta dirección. En la figura 2.6 se muestra como ejemplo la huella de cobertura del satélite Solidaridad 1 para la banda C, en la región 1 y para los transpondedores angostos (36 MHz).

En el apéndice 4.1 se realizan los cálculos de un enlace para transmitir televisión analógica usando el satélite Solidaridad 1.

2.2 Sistema receptor de TV vía satélite en la banda C (estación terrena)

El sistema de recepción de televisión vía satélite se divide en unidad externa y unidad interna. En la figura 2.7 se muestra un esquema de bloques de un TVRO (Television-Receive-Only).

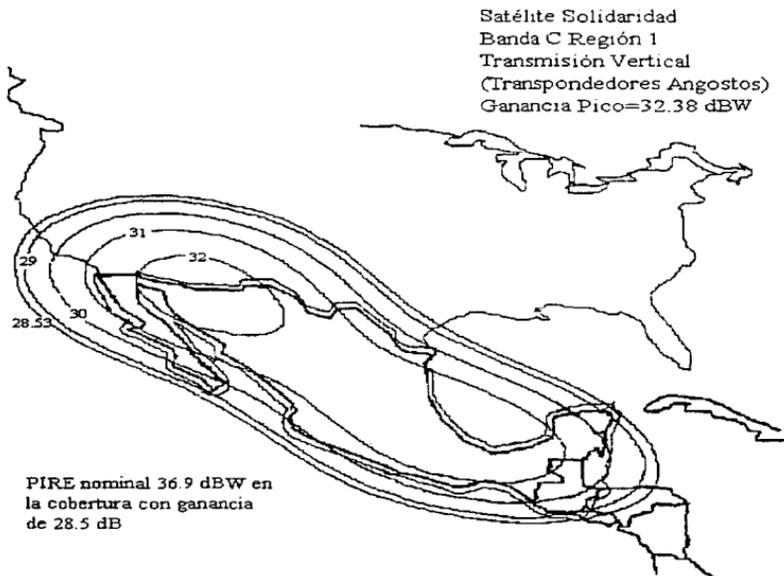


Fig 2.6 Huella de cobertura del satélite Solidaridad I para transpondedores angostos en la región 1.
Dentro de la figura se muestra el PIRE en dB de cada una de las zonas.

2.2.1 Unidad externa

La unidad externa consta de: antena, alimentador, amplificador de bajo ruido (LNA), y convertidor de bajada.

Antena: Para recepción en banda C se utiliza una antena parabólica cuyo diámetro varía entre 2 y 3 metros.

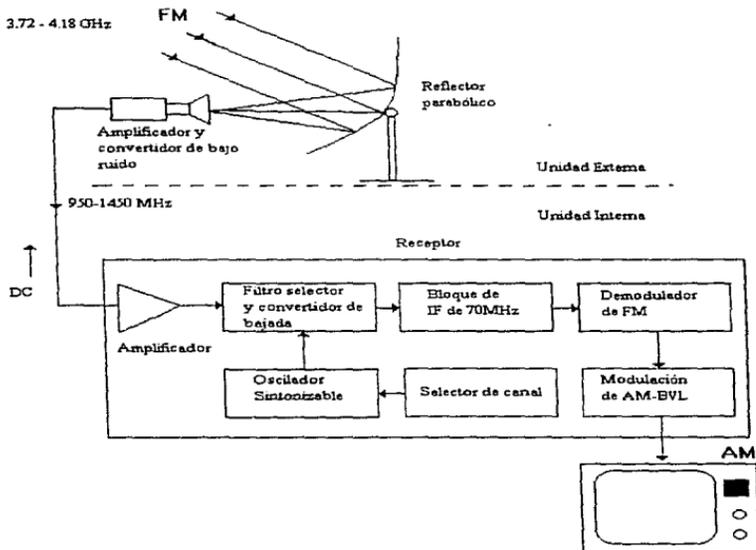


Fig 2.7 Diagrama de bloques de un receptor de televisión analógica vía satélite para banda C

Alimentador: Las señales electromagnéticas que llegan del satélite llegan al reflector parabólico y éste se encarga de concentrarlas en el foco del reflector, en donde se encuentra el alimentador. El alimentador debe ser capaz de recibir señales con polarización tanto horizontal como vertical. En banda C, el alimentador más común es el alimentador escalar, el cual consiste en una placa circular con 3 ó 4 anillos concéntricos que tienen la función de concentrar la energía en el punto focal. El polarizador discrimina entre las polarizaciones utilizadas en una transmisión satelital. Existen varios tipos de polarizadores: a) de ferrita, b) transductores de ortomodo, c) mecánicos, d) de conmutación V/H. Estos tipos de polarizador se describen a continuación:

a) Polarizador de ferrita

Un polarizador de ferrita es un dispositivo de estado sólido sin partes móviles. El sentido de la polarización lineal se selecciona usando un campo magnético producido por una barra de ferrita localizada en el centro de una guía de onda circular y sujeta por un plástico dieléctrico. Al hacer pasar una corriente a través de una bobina alrededor de la guía de onda, se produce un campo magnético, el cual depende de la dirección de la corriente. La detección de la polaridad de la señal depende de la orientación del campo magnético.

Estos polarizadores no tiene partes móviles por lo que no están expuestos a los problemas de los polarizadores mecánicos. Las pérdidas por inserción en este tipo de polarizador tienen valores típicos de 0.3 dB. Los receptores de señales que operan con este tipo de polarizador necesitan un sistema de ajuste fino que permite al dispositivo alinearse con la polaridad de la señal recibida.

b) Transductores de ortomodo y LNBs de doble banda

Los transductores de ortomodo pueden detectar simultáneamente las señales polarizadas horizontales y verticales. Estos dispositivos son utilizados en instalaciones comerciales en banda C tales como antenas comunitarias (SMATV), o sistemas para alimentación por cable (CATV), ya que en ambos se necesitan recibir todos los canales del satélite simultáneamente.

Estos transductores consisten en un par de guías de onda, cada una de ellas detecta una polarización

Otra variedad de alimentadores diseñados para recibir simultáneamente dos polarizaciones, consta de dos sondas independientes cada una de ellas diseñada para detectar una polarización.

c) Polarizadores mecánicos

Un polarizador mecánico discrimina las polarizaciones mediante movimientos del mismo. La selección de la polarización se realiza rotando una pequeña sonda de metal ligero

localizada dentro de una guía de onda circular, entre las direcciones de polaridad horizontal y vertical. Un servomotor o un motor de DC controla de manera precisa la posición de la sonda. Este tipo de polarizadores tienen partes móviles que sufren desgaste y además podrían no funcionar adecuadamente en climas muy fríos. La figura 2.8 muestra un alimentador con el sistema de polarización mecánica en su interior, llamado Polarotor.

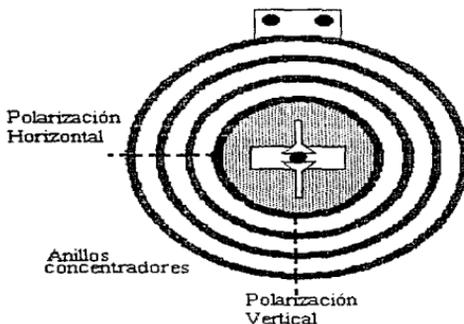


Fig 2.8 Alimentador escalar con un Polarotor en el interior

d) Polarizadores de conmutación V/H

Este tipo de polarizador consiste en dos sondas localizadas en una guía de onda circular, una sonda detecta la señal polarizada verticalmente y otra para la horizontal. Un switch de estado sólido conmuta de manera electrónica entre cada una de las sondas.

En el caso de que la antena sea utilizada para captar señales de varios satélites será necesario ajustar la dirección del alimentador además de orientar toda la antena. Este tipo de polarizadores es en general más ruidoso que los polarizadores mecánicos o de ferrita, ya que no logran un desacoplo de las señales tan grande como los anteriores.

La conmutación entre las dos sondas, vertical y horizontal, se logra cambiando el voltaje de alimentación en el cable coaxial que alimenta al LBN.

Amplificador de bajo ruido: Debido a las atenuaciones por espacio libre, lluvia, y gases atmosféricos, la señal recibida del satélite tiene niveles de potencia muy bajos para ser procesada, por lo cual se amplifica mediante un LNA (Low Noise Amplifier).

Este amplificador debe discriminar entre el ruido y la señal de entrada, a fin de no contaminar la señal recibida del satélite. Esto lo logra mediante filtros y retroalimentación. El ancho de banda de operación de este amplificador es de 3.7 a 4.2 GHz, en total 500MHz. Un parámetro que indica el óptimo funcionamiento del LNA es su temperatura de ruido, que se define como su capacidad para generar poco ruido interno y se mide en grados Kelvin. Un valor aceptable de temperatura de ruido es 55 grados Kelvin en la banda C.

Convertidor de bajo ruido: Este circuito baja la frecuencia de las señales recibidas a FI, que es un rango entre 970 y 1430 MHz, para que puedan ser transmitidas hacia la unidad interna por medio de un cable coaxial. Además, en esta fase se realiza otra etapa de amplificación.

Al conjunto que forma el convertidor de bajo ruido (LNC) y el amplificador de bajo ruido (LNA) se le conoce como bloque de bajo ruido (LNB). Además del cable coaxial, se debe poner una línea para alimentar de electricidad a la unidad externa, así como cables para controlar la polarización.

2.2.2 Unidad interna

La unidad interna consta de una última etapa de amplificación, un convertidor de bajada, un demodulador de FM y un modulador de AM-BVL. Los elementos que constituyen la unidad interna se presentan dentro del bloque del "receptor" en la figura 2.7.

Convertidor de bajada y filtro selector: Cuando el usuario selecciona un canal, se modifica la frecuencia del oscilador sintonizable, dicho oscilador controla el filtro selector, el cual deja pasar únicamente al canal seleccionado. La frecuencia intermedia del canal seleccionado (ver tabla 2.2), se cambia a una segunda frecuencia intermedia de 70 MHz.

Demodulador de FM: Para recuperar la señal de televisión en banda base, como la descrita en la sección 1.2, hay que demodular la señal que modula, en F.M., a una portadora de 70 MHz.

Modulador AM-BVL: La señal en banda base se debe modular en AM de banda residual para obtener señales como las descritas en la sección 1.3 de televisión terrestre, a fin de obtener señales que puedan alimentarse al aparato de televisión.

La unidad interna debe contar con un selector para controlar la polarización, un selector de 24 canales y salidas de audio y video.

2.2.3 Codificación de la señal en la banda C

En la literatura existe alguna confusión sobre el término codificación, porque es aplicado a muchos procesos diferentes, entre ellos la corrección de errores. Usualmente, codificación se usa para referirse a la modificación de la información para evitar su uso no autorizado. Este proceso es conocido técnicamente como encriptación. Se usa frecuentemente tanto para señales analógicas como para señales digitales que se transmiten por cable o por aire. Las señales digitales son mucho más manejables para la encriptación, la cual se logra multiplicando la secuencia de bits con una larga cadena de pseudo ruido para destruir la inteligibilidad de los datos en banda base. Para recuperar la información, la parte receptora debe conocer la secuencia de pseudo ruido, esta información esta contenida en la llave del código, la cual debe ser cambiada regularmente para preservar la seguridad del sistema. En la figura 2.9 se muestra el diagrama básico de una canal criptográfico.

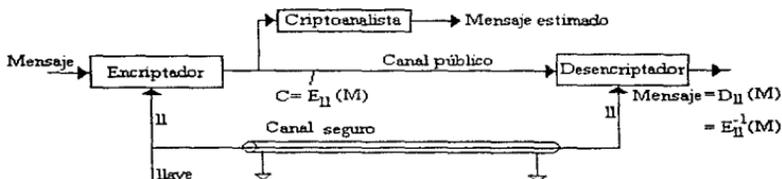


Fig. 2.9 Modelo de un canal criptográfico

En un principio, cuando en 1986 HBO introdujo la codificación en el mercado, la tecnología utilizada no proveía de la adecuada protección contra la piratería. Aunque el algoritmo de encriptación nunca se rompió, el módulo de hardware del sistema VideoCipher II era fácilmente violado. Desde el advenimiento del sistema decodificador VideoCipher II Plus (VCIH Plus), el problema del robo de señal de satélite se tuvo bajo control. Hoy, la mayoría de la gente que ve televisión por satélite se suscribe legalmente y paga la programación que recibe.

Equipo para recepción y decodificación de señales en la banda C

Actualmente existen en el mercado diversos equipos de decodificación de señales para recepción en banda C de los cuales se menciona el siguiente ejemplo:

COMMANDER 6 Receptor/decodificador integrado (Modelos C6R y C6R-VCII)

El C6R-VCII es un receptor de satélite comercial en las bandas Ku/C con decodificador VideoCipher integrado, compatible con el VC II Plus y formatos de codificación para RF. El C6R cubre completamente las frecuencias Ku y C, empleando circuitería PLL (phase-locked-loop) para la síntesis de frecuencias. El receptor acepta una frecuencia de entrada de RF en el rango de 950 MHz a 1450 MHz y tiene una salida de FI de 70 MHz. La selección de frecuencias se hace mediante un selector giratorio de canal localizado en el panel frontal del equipo. Otras características específicas de cada modelo se muestran en la tabla 2.8.

A pesar de la codificación, algunas compañías como la BWI, localizada en las islas caimanes, hacen esfuerzos para contrarrestar los efectos de la codificación y sacó al mercado un producto llamado "Cyber-1 MIP". Este pequeño dispositivo integrado mejor conocido como MIP modifica algunas opciones del VCII Plus y se instala fácilmente en él. Algunas de sus capacidades son:

- Permite la manipulación de áreas no seguras en el VCII Plus, puede manipular algunas funciones del generador interno de caracteres en el módulo decodificador y puede alterar el despliegue de información sobre la pantalla.
- Limpia las coordenadas de zona almacenadas en la RAM del decodificador permitiéndole al espectador ver programas, tales como eventos deportivos, que por razones legislativas no estarían permitidos en su área geográfica.
- Elimina el desplegado de anuncios usados por los programadores para solicitar nuevos suscriptores.
- Cambia el nivel de umbral mínimo en el decodificador, lo que permite al usuario ver programas que por restricciones de nivel no podría ver.
- Borra claves almacenadas en la RAM del decodificador que normalmente se usan para restringir las funciones-usuario. El MIP no interactúa de ninguna manera con el VLSI chip de seguridad del módulo VCII Plus. La seguridad de éste no es rota por el MIP. El MIP no puede obtener el audio para servicios completamente codificados y no tiene la capacidad de descifrar las claves de descifrado del VCII Plus.

Tabla 2.8 Características de los receptores/decodificadores

Características	S3501	4501	5501	6501
Acceso directo a canal	opc	*	*	*
Busqueda de canal				
Memoria de canales preferidos		10	60	150
Nombres de los programas		*	*	*
Invocación del último canal		*	*	*
Temporizador para VCR		*	*	*
Control de acceso a menores	*	*	*	*
Calidad de sonido de CD	*	*	*	*
Despliegue en panel frontal	*	*	*	*
Despliegue sobre pantalla	*	*	*	*
Despliegue temporal	*	*	*	*
Ajuste automático del plato		*	*	*
Localizador automático de satélite		*	*	*
Acceso directo al satélite	opc	*	*	*
Memoria de posición satelital	40	64	64	64
Realineamiento de plato				
Formatos en banda Ku	2	10	10	10
Reducción en ancho de banda de FI				
Ajuste de subportadora estéreo			*	*
Selector de ancho de banda de audio	2	2	2	2
Reducción en el ruido de audio			c	
Entradas para LNB (1 ó 2)	1	2	2	2
Entradas externas A/V			1	
Salida para grabar				*
Control remoto infrarrojo	*	*		

3

Comparación del uso de las bandas Ku y C en América, Europa y Japón. Televisión digital

3.1 Televisión vía satélite en Europa

Los servicios de televisión directa al hogar vía satélite comenzaron a principios de los años ochenta. Europa utilizó desde un principio la banda Ku para la transmisión de televisión vía satélite, tanto para uso individual como para alimentación de sistemas de cable. La tecnología usada en los primeros sistemas de televisión vía satélite sólo le permitía a cada país transmitir 3 canales de los 5 que tenían asignados. El estándar adoptado para la transmisión de televisión analógica vía satélite fue el MAC (Multiplexed Analog Component). Este sistema fue introducido en Europa para eliminar ciertas formas de distorsión presentes en los métodos de modulación convencionales (PAL, SECAM y NTSC). En los sistemas MAC las señales de luminancia y crominancia son multiplexadas en tiempo durante la duración de una línea de imagen. Aunque este estándar sigue siendo utilizado en las transmisiones analógicas en algunas partes del mundo, su uso no se extendió, ya que como no se obligó a las cadenas difusoras a usarlo, las compañías prefirieron utilizar los métodos de modulación convencionales. En la tabla 3.1 se resumen las principales características de los sistemas MAC usados en el mundo.

Se estima que actualmente existen más de 160 millones de hogares que cuentan con televisión en el continente europeo, de los cuales 26 millones cuentan con algún servicio de televisión vía satélite, 46 millones cuentan con sistema de cable y 91 millones sólo tienen acceso a la televisión abierta local. La figura 3.1 ilustra las cifras anteriores.

El mayor operador de servicios via satélite es la SES, la cual con el sistema de satélites ASTRA da servicio al 88.5% (22.97 millones) de los hogares que cuentan con algún servicio de radio y/o televisión via satélite, tanto analógico como digital.

Tabla 3.1 Estándares analógicos de transmisión de TV via satélite

País	C-MAC	D2-MAC	B-MAC		NTSC con subportadora digital
	EBU	Alemania Francia	Australia	USA Canadá	Japón
Ancho de banda (MHz)	27		24		27
Líneas y campos	652/50			525/60	
Codificación de la imagen y modulación	MAC/FM			NTSC/FM	
Frecuencia de muestreo MHz	13.5		14.22	14.32	-
Luminancia Ancho de banda MHz	5.6		5.0	4.2	4.2
Crominancia Ancho de banda MHz	2.4		3.1	2.1	2.1/1.5
Ancho de banda base transmitido MHz	8.4		7.5	6.3	6.3
Frecuencia del reloj de referencia MHz	20.25		21.328	21.477	-
Sonido y datos multiplexados	Señal TDM en RF.	Señal de TDM en banda base			FDM (5.73 MHz)
Codificación y modulación datos	QPSK /BPSK	BPSK FM	QPSK/BPSK		QPSK
Tasa promedio de bits (Mbps)	3.08	1.54	1.59	1.60	2.048
Tipo de multiplex	Por paquetes		Cadena continua de bits		
Codificación de sonido	14 bits/muestra codificación lineal		Codificación delta adaptiva.		16 bits/muestra
Código de protección de	1 bit de paridad/muestra o 5 bit/cod. Hamming /muestra		2.33 bit/13 bloque de bit		BCH(63,56) SEC DED**
Máximo número de canales de audio	8	4	6/3		4 15 kHz 2 20 kHz

*EBU European Broadcast Union. **SEC single error correction, DED double error detection

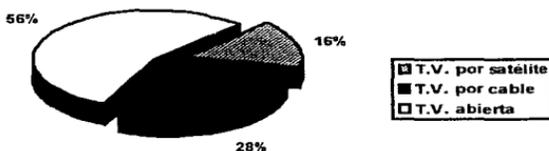


Fig 3.1 Porcentaje de usuarios de los diferentes servicios de distribución de televisión en Europa.

La figura 3.2 muestra el crecimiento en los últimos años de los servicios de televisión tanto vía satélite como por cable. Las cifras fueron estimadas por la SES en base a 22 de los países que se encuentran dentro de la cobertura del sistema ASTRA.

De acuerdo con esta gráfica, la preferencia por los sistemas de televisión vía satélite ha crecido en los últimos años. Se espera que estas cifras crezcan aún más conforme se extiendan los servicios de televisión digital vía satélite.

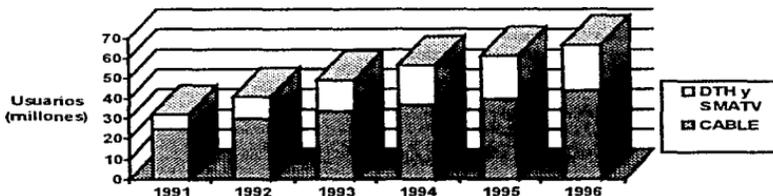


Fig 3.2 Número de usuarios de los sistemas de cable y televisión por satélite del sistema SES.

El servicio de televisión digital vía satélite ofrecido por Astra comenzó en 1996. Los primeros países en recibir este nuevo servicio fueron Alemania, Francia, Bélgica, Holanda, Escandinavia, Inglaterra y Luxemburgo. España comenzó con el servicio de televisión digital, luego de la liberación del servicio DTH por parte del gobierno español, en enero de 1997 con las compañías Canal Digital y Vía Digital.

La banda Ku en Europa se divide en tres: FSS de 10.7 a 11.7 GHz, BSS de 11.7 a 12.5 GHz y Telecom de 12.5 a 12.750 GHz, las dos últimas también llamadas DBS. Actualmente existen sistemas de DTH en las tres bandas.

El sistema Astra maneja actualmente sistemas de televisión tanto analógicos como digitales. Para ello ha dividido el espectro en dos: banda baja (FSS 10.70-11.70 GHz) que lleva las transmisiones analógicas y banda alta (DBS 11.70-12.75 GHz) que lleva las señales digitales. Las figuras 3.3 y 3.4 muestran los dos sistemas de satélites de Astra, uno en la posición 19.2° Este y otro en la posición 28.2° Este.

El sistema en la órbita 19.2° consta de 4 satélites, 64 transpondedores de 27 MHz, para la transmisión de televisión analógica (1 canal de televisión más algunas portadoras de audio por transpondedor). Se espera que en un futuro estas órbitas sean utilizadas para transmisión de televisión digital. En la misma órbita existen 3 satélites más que en conjunto ofrecen 56 de 27 MHz transpondedores. Cada transpondedor puede llevar más de 8 canales de televisión digital, lo que permite transmitir cientos de canales digitales desde una sola órbita.

El sistema de satélite en la órbita 28.2° sólo proveerá servicios digitales y está planeado para entrar en servicio a finales de 1998.

Los usuarios con equipos analógicos sólo podrán ver la programación de los primeros cuatro satélites, mientras que los nuevos usuarios tienen la posibilidad de adquirir un equipo universal especialmente diseñado para operar en ambas bandas (bandas alta y baja). El LNB universal requiere de dos osciladores, uno a 9.75 GHz que convierte las señales de 10.7-11.7 GHz a una frecuencia intermedia de 950-1950 MHz y otro oscilador a 10.60 GHz que convierte las señales de 11.70-12.75 GHz a una frecuencia intermedia de 1100-2150 MHz.

Varios de los canales digitales del servicio Astra son gratuitos, lo cual permite la difusión pública de canales de noticias y programas de radio en forma digital a toda Europa.

Existen otros sistemas que ofrecen servicios de DBS en Europa entre los que se encuentran Eutelsat, Panamsat, Intelsat, Hispasat, etc. El segundo más importante después de Astra es Eutelsat. Este sistema tiene planeados 7 satélites en la posición 13° Este para fines de 1998, actualmente cuenta con 4 de ellos.

Se espera que en un futuro se agreguen servicios como video bajo demanda, compras desde el hogar y accesos a redes de computadoras.

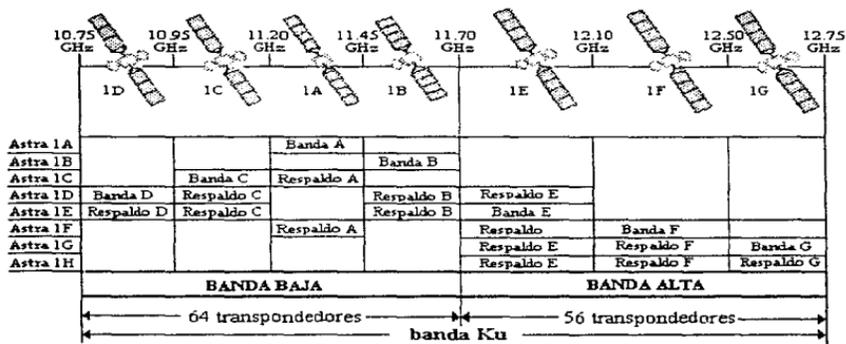


Fig 3.3 Sistema Astra de 7 satélites en la posición 19.8° para la transmisión de televisión y canales de audio.

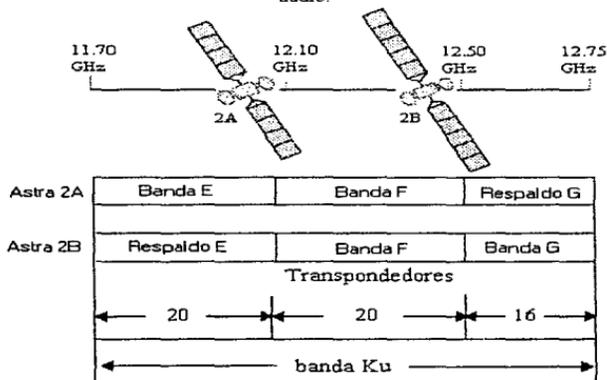


Fig 3.4 Sistema Astra de 3 satélites en la órbita 28.2° para operar en la banda alta (servicios digitales).

3.2 Televisión vía satélite en Estados Unidos

Los sistemas de televisión en la banda C se popularizaron en Estados Unidos en los años ochenta. Estos sistemas que fueron diseñados para alimentar a los sistemas de televisión por cable han sido usados como sistemas de recepción directa al hogar. A diferencia de Europa, Estados Unidos no utilizó satélites domésticos en la banda Ku para servicios analógicos de DTH, tanto por razones tecnológicas como políticas. El funcionamiento de los sistemas de TV analógica vía satélite se describió en el capítulo 2.

La banda C sigue siendo utilizada para alimentar a los sistemas de televisión por cable, además de alimentar a los actuales sistemas de DTH, que retransmiten la programación de los satélites de la banda C en la banda Ku después de digitalizarla, y de ofrecer programación directa al usuario final. Actualmente existen algunas compañías que ofrecen servicios de televisión digital en la banda C, pero estos servicios no cuentan con todas las ventajas de los sistemas digitales en la banda Ku.

Los servicios de televisión digital vía satélite en la banda Ku comenzaron a mediados de los 1994. En ese momento la televisión vía satélite en banda C contaba con más de 2 millones de usuarios en Estados Unidos. A partir de ese año, el número de suscriptores a los servicios de DTH en banda Ku ha crecido rápidamente, mientras que el número de usuarios de los servicios de DTH en banda C se ha mantenido casi constante.

La tabla 3.2 ilustra el crecimiento de la industria de DTH tanto en la banda C como en la banda Ku.

Tabla 3.2 Usuarios de los servicios de DTH en E.U.

Año	Banda C	Banda Ku	Total*
1994	2.165.293	390.000	2.555.293
1995	2.355.376	1.980.000	4.335.376
1996	2.302.766	4.040.000	6.342.766
1997 (hasta junio)	2.194.383	5.051.000	7.245.383

*Al final de cada año.

La tabla 3.2 confirma la aceptación del servicio de televisión digital vía satélite. El número de usuarios de este nuevo servicio creció al doble de lo que creció la televisión analógica en banda C, desde sus comienzos, en solo tres años.

En el capítulo 4 se tratarán a fondo los actuales sistemas de televisión digital vía satélite.

3.3 Televisión vía satélite en Japón

Actualmente existen tres empresas que ofrecen servicios de televisión digital y analógica en Japón. Estas empresas son JSAT, NHK y Superbird.

La empresa JSAT (Japan Satellite Systems) ofrece programas de televisión vía satélite en la banda Ku desde finales de los ochenta. Su satélite JSAT-1, lanzado en 1989, fue el primer satélite propiedad de un operador privado de satélites en Japón. JSAT fue la primera empresa en lanzar el servicio de DTH digital en Japón, el sistema PerfecTV fue lanzado a mediados de 1996. Actualmente la empresa cuenta con 3 satélites, la tabla 3.3 resume las características y uso de estos satélites.

Tabla 3.3 Características de los satélites de la empresa JSAT

Satélite	Orbita	Número total de transpondedores	Transpondedores dedicados a la difusión	Potencia de cada canal
JSAT1	150°E	32 de 27 MHz (Ku)	8 para alimentación de señales analógicas a cadenas locales.	20W PIRE max=52dB
JSAT2	154°E	32 de 27 MHz (Ku)	18 para difusión de televisión analógica codificada y libre. 2 para Radio Digital (PCM codificado)	20W PIRE max=52dB
JSAT3	128°E	16 de 27 MHz (Ku) 12 de 36 MHz (Ku) 12 de 36 MHz (C)	20 para el servicio de PerfecTV, (televisión y radio digital, video en MPEG-2 FEC 3/4)	60 W

En la Fig. 3.5 se muestra la cobertura de los satélites JSAT 1 y JSAT 2



Fig 3.5 Servicio de cobertura de los satélites JSAT1 y JSAT2

Japón es el único país que está transmitiendo televisión de alta definición vía satélite, de manera comercial. La empresa NHK (Japan Broadcasting Corporation) comenzó las transmisiones de HDTV en forma experimental en 1990 y en forma oficial a finales de 1995. El sistema usado para la transmisión de HDTV vía satélite es el MUSE. Este sistema es un sistema analógico.

La entrada de empresas como PerfectTV, JSkyB, y DirecTV al mercado de la televisión por satélite en Japón, impulsó a la empresa NHK a comenzar las investigaciones para desarrollar sistemas digitales de HDTV vía satélite. El capítulo 7 tratará acerca de la evolución de los sistemas digitales de HDTV tanto en Japón como en el resto del mundo.

Existen 30.000 receptores de HDTV vía satélite y 100.000 convertidores para adaptar la señal a los receptores convencionales. La empresa NHK cuenta actualmente con 3 satélites para la difusión de televisión por satélite. Los satélites se encuentran en la órbita de 110.1°E y sólo ofrecen cobertura en Japón. La tabla 3.4 resume las características de los satélites de NHK.

Tabla 3.4 Satélites de NHK para TV en la banda Ku.

Satélite	Tipo de amplificadores	No. de TxP's	Potencia	Fecha de lanzamiento
BS-3A (YURI-3A)	TWTA SSDA	4 en la banda Ku	120 watts/ canal de TV 20 watts/ canal de banda ancha	28 de agosto de 1990
BS-3B (Yuri-3B)	TWTA SSDA	4 en la banda Ku	120 watts/ canal de TV 20 watts/ canal de banda ancha	25 de agosto de 1991
BS-3N	TWTA	3 en la banda Ku	120 W	8 de julio de 1994

NHK tiene programado el lanzamiento de su satélite BSAT 1B a fines de 1997 para dar servicios de DBS.

La empresa Superbird cuenta con 3 satélites: el Superbird A2, Superbird B2 y Superbird C. El superbird A2 se localiza en la órbita 158 ° E y se usa para alimentar sistemas de televisión por cable. Es Superbird B2 se localiza en la órbita 168° E y dedica 20 transpondedores a la transmisión de televisión analógica en la banda Ku.

El servicio de DirecTV inicia transmisiones en noviembre de 1997 usando el satélite Superbird C (órbita 144° Este), este satélite cuenta con 24 transpondedores en la banda Ku, y dará cobertura a Hawaii (11,7-12.2 GHz), a Japón y el este de Asia (12.250-12.750 GHz).

3.4 Estándares de televisión digital

3.4.1 Recomendación CCIR 601

Esta recomendación especifica los formatos de imagen, parámetros y procedimientos para la representación digital de señales de video. La UIT define los siguientes formatos:

a) Formato 4:4:4 : La frecuencia de muestreo para la señal de luminancia (Y) y las señales de color (R-Y ó Cr y B-Y ó Cb) es de 13.5 MHz para el caso de NTSC. Dicha frecuencia genera 858 muestras/linea de cada una de las tres señales. Utilizando 8 bits por muestra, la imagen necesitará 324 Mbps para poder ser representada.

b) Formato 4:2:2 : La frecuencia de muestreo para la señal de luminancia es 13.5 MHz y para las señales de color es de 6.75 MHz para el caso de NTSC. En este formato se submuestra a la mitad de la frecuencia a las señales de color, 429 muestras/seg. Esto genera una señal de 216 Mbps.

c) Formato 4:2:0 : La frecuencia de muestreo de la luminancia es de 13.5 MHz y de 6.75 MHz para las señales de color en NTSC, además se usa un método de diezmado vertical (interpolación) para las señales Cr y Cb. El método de diezmado vertical reduce la resolución vertical de la imagen de color a la mitad, es decir que las señales de color se componen de 262.5 líneas por cuadro. Este formato produce una imagen de 162 Mbps. En el apéndice 3 se realizan los cálculos de las tasas de bits de cada uno de los formatos.

La figura 3.6 muestra de manera gráfica el muestreo en cada uno de los tres formatos anteriores:

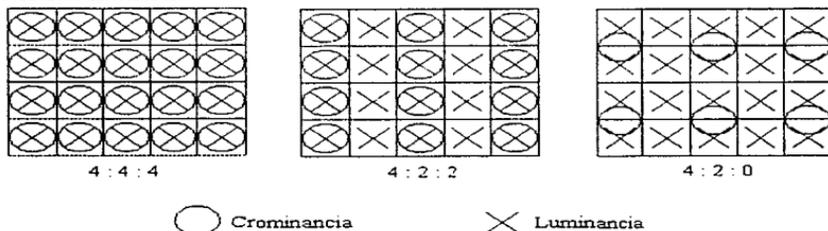


Fig 3.6 Formatos de imagen definidos por la recomendación UIT 601

Como se explicó en el capítulo 1, una señal analógica de video compuesto contiene pulsos de borrado horizontal y vertical. Estos pulsos no contienen información, y pueden ser eliminados al digitalizar la señal, por lo que de las 858 muestras por línea, en una señal NTSC, sólo entre 720 y 704 muestras contienen información de la imagen. Lo mismo ocurre con el número de líneas, de las 525 líneas solo 480 contienen información. La tabla 3.5 muestra los formatos más usados para transmitir televisión en forma digital.

Tabla 3.5 Tamaños de imagen NTSC y PAL con formatos CCIR 601

Parámetro	NTSC (525)	NTSC (525)	PAL (625)	PAL (625)
Formato	4:2:2	4:2:0	4:2:2	4:2:0
Luminancia (Y)	720x480	720x480	720x576	720x576
Cr y Cb	360x480	360x240	360x576	360x288
Campos/seg	60	60	50	50
Cuadros/seg	30	30	25	25

3.4.2 Estándar MPEG

El estándar MPEG es la base para los actuales sistemas de televisión digital vía satélite. Este estándar fue desarrollado para codificar imágenes con su respectivo audio.

El algoritmo de compresión de video MPEG-1 fue desarrollado para almacenar video en formato SIF (Standard Input Format) y su audio asociado a una tasa de 1.5 Mbps en CD-ROM y cintas digitales. La calidad del video en el estándar MPEG-1 es similar en calidad a la del video VHS analógico.

El estándar MPEG-2 se compone de dos partes: a) codificación: representación y compresión de las imágenes y b) transporte: adaptación de la cadena de bits para ser transmitida.

Codificación

El estándar MPEG-2 (ISO/IEC 13818) de codificación fue creado para ser una extensión compatible de MPEG-1. Puede manejar tasas de bits de 2-20 Mbps a resoluciones variables. Es un estándar orientado a aplicaciones en tiempo real (televisión digital).

En este estándar se puede comprimir el formato CCIR 601 4:2:0 con una excelente calidad a una tasa entre 4-6 Mbps. Una de las ventajas de MPEG-2 es que soporta imágenes con resolución de 720x480 a 30 Hz (NTSC) ó 720x576 a 25 Hz (PAL y SECAM) y formatos 4:3,16:9 y 2.21:1. Lo anterior permite al usuario, y no al que transmite el canal, convertir los formatos 16:9 y 2.21:1 (películas) a formato 4:3 seleccionando los métodos

Pan and Scan (cortar la información sobrante), **Letterbox** (reducir la imagen para que quepa en el formato 4:3) o una combinación de ellos. La figura 3.7 muestra como se aplican los métodos anteriores.

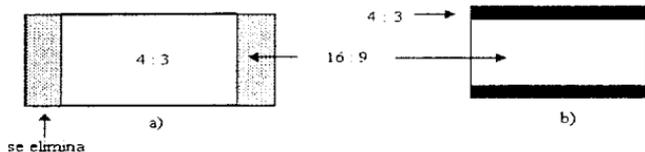


Fig 3.7 a) Método de Pan & Scan, b) Método de Letterbox

El algoritmo MPEG-1 sigue una estructura jerárquica que consiste en las siguientes 6 capas, esta misma estructura es usada por MPEG-2:

- Las *secuencias* están formadas por grupos de imágenes.
- Los *grupos de imágenes* (GOP) están formados por imágenes.
- Las *imágenes* están formadas por cuadros fijos. Existen 3 tipos de imágenes que indican el modo de compresión que se utilizará, estos tipos son:
 - ⇒ Imágenes I (Intra-frame). Son imágenes codificadas intra-cuadro. Esto quiere decir que se les aplica la transformada coseno discreta, se cuantizan y se les asigna un código de línea de longitud variable descartando (selectivamente) los componentes cuya contribución sea despreciable. En este tipo de imágenes se manda toda la información necesaria para reconstruir la imagen sin necesidad de métodos de predicción (compresión espacial). Por lo anterior, cada determinado intervalo de tiempo se insertan imágenes I para corregir desviaciones en la predicción y compensación de movimientos y cambios en la luminancia.
 - ⇒ Imágenes P (Predicted). Son imágenes que se predicen tomando como referencia a otras imágenes I o P. Estas técnicas de predicción se usan para no mandar toda la información sobre la imagen a través del medio de transmisión. Para predecir estas imágenes se usa la predicción hacia adelante (compresión temporal).
 - ⇒ Imágenes B (Bidireccional). Son imágenes que se predicen bidireccionalmente, lo que quiere decir que se predicen tomando a las I o P anteriores y posteriores (compresión temporal).

La figura 3.8 muestra los diferentes tipos de imágenes y la manera de realizar la predicción

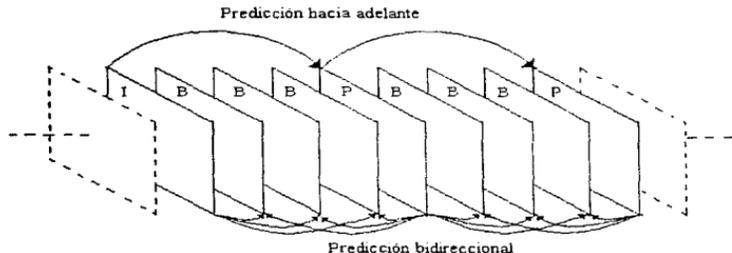


Fig 3.8 Imágenes I, P y B del estándar MPEG-2 y métodos de predicción hacia adelante y bidireccional

- Los cuadros fijos están formados por macrobloques.
- La composición de *macrobloques* es la misma que en el estándar H.261. Cada macrobloque está formado por 4 bloques de luminancia de 8x8 píxeles y sus bloques de color asociados.
- Los *bloques* consisten en arreglos de 8x8 píxeles que son la unidad más pequeña de la transformada coseno discreta.

El proceso de codificación de imágenes en MPEG-2 es el siguiente:

- 1.- Conversión de formato: La imagen se cambia de video compuesto (NTSC ó PAL) a video en componentes (Y,Cr,Cb).
- 2.- Submuestreo de color: Tomando en cuenta el hecho de que el ojo humano es menos susceptible al color que a la luminancia, el codificador elimina parte de los valores de crominancia. En el estándar MPEG-2 los macrobloques permiten el submuestreo de color en los formatos 4:2:0 (igual que el MPEG-1) y 4:2:2.
- 3.- Transformada coseno discreta: Se aplica la DCT a cada bloque de 8x8. La transformada coseno discreta se realiza en dos dimensiones. Dicho proceso es una transformada espacio-frecuencia en la que se obtiene el espectro de frecuencia para un determinado conjunto de datos. Al obtener el espectro se elimina la redundancia entre píxeles adyacentes, logrando la compresión de la imagen. El resultado de este proceso es una matriz de coeficientes.

4.- Cuantización: Se divide el resultado del DCT entre una matriz de cuantización y se redondea el resultado. Con este proceso se reduce el número de posibles valores en la imagen, pero también se pierde información.

5.- Conversión de formato: Se convierte cada de matriz (8x8) a vector. Para esto existen dos métodos: el zig-zag tradicional y un método alternativo.

6.- Codificación de Huffman: Se le asigna a cada cadena de datos una palabra del código Huffman. Este tipo de codificación asigna palabras más cortas a secuencias más frecuentes. Este tipo de codificación se conoce como codificación de longitud variable.

7.- Compresión entre imágenes: En este punto se crean imágenes I, P y B con los métodos de predicción hacia adelante y bidireccional. En una imagen 4:2:0 de 720x480x30 transmitida a 4 Mbps existen 400,000 imágenes I, 200,000 imágenes P y 80,000 imágenes B. Los siguientes valores toman en cuenta una distancia de $N=15$ entre imágenes I y de $M=3$ entre imágenes P.

La figura 3.9 muestra un diagrama de bloques del proceso de codificación descrito anteriormente.

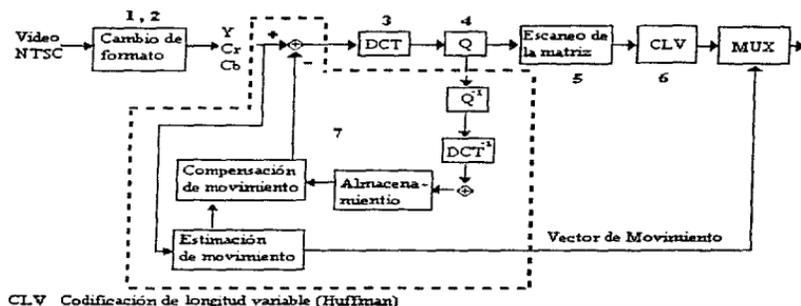


Fig 3.9 Proceso de codificación y compresión de imágenes de video

La sintaxis del estándar MPEG-2 tiene las siguientes ventajas sobre MPEG-1:

- Permite entradas entrelazadas y progresivas.
- Ofrece imágenes de más alta definición y opciones de submuestreo de los canales de color.
- Ofrece una cadena de bits escalable.
- Ofrece opciones de cuantización y codificación mejoradas.

La sintaxis del estándar MPEG-2 especifica los siguientes 5 "niveles" y 5 "perfiles". Los diferentes niveles son explicados en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Niveles definidos en MPEG-2

Nivel	Dimensiones de muestreo máximas	Velocidad Máxima	Uso
Bajo	352 x 240 x 30	4 Mbps	Imágenes de mediana calidad
Principal	720 x 480 x 30	15 Mbps	SDTV
Alto 1440	1440 x 1152 x 30	60 Mbps	HDTV comercial
Alto	1920 x 1080 x 30	80 Mbps	Estándar para producción

Los perfiles definidos son: simple, principal, SNR escalable, espacial escalable y alto. La diferencia entre ellos es el uso de diferentes técnicas de estimación de movimiento, lo que permite obtener diferentes calidades de imágenes.

No todas las combinaciones de perfiles y niveles son válidas. La combinación usada en televisión via satélite es perfil principal y nivel principal.

MPEG-2 acepta tanto entradas progresivas (formato usado en películas) como entrelazadas (usado en NTSC). Si la entrada es entrelazada la salida del codificador consiste en una secuencia de campos que están separados por un período de campo. Hay dos maneras de codificar video entrelazado: i) cada campo puede ser codificado independientemente (imágenes de campo), o ii) si dos campos se codifican simultáneamente como cuadro compuesto (imágenes de cuadro). La codificación de campo da mejores resultados si se tiene mucho movimiento aunque el estándar MPEG-2 permite una conmutación entre formas de codificación, dependiendo del movimiento en la escena, lo que se logra con los estimadores de movimiento. Las imágenes de cuadro se obtienen entrelazando líneas de campos nones y pares para formar cuadros compuestos. Las imágenes de cuadro pueden ser de tipo I, P o B. Las imágenes de campo son únicamente los campos nones y pares tratados como imágenes separadas las cuales pueden ser I, B o P. Los campos siempre aparecen en parejas, las cuales forman un cuadro.

Codificación de audio

El estándar para la transmisión de audio es el MPEG Capa II (MPEG Layer II ISO/IEC 13818-2 ó MUSICAM). Las tasas de muestreo que soporta MPEG son: 32 kHz, 44.1 kHz y 48 kHz con 16 bits/muestra. La señal se descompone en 32 sub-bandas iguales, en el dominio de la frecuencia, con un banco de filtros. Se alimenta al codificador en bloques de 384 muestras. Simultáneamente se calculan para cada sub-banda, en el modelo psicoacústico, los coeficientes entre los niveles de señal y el umbral de enmascaramiento (los sonidos no se distinguen por debajo de este umbral). Estos umbrales se calculan utilizando la FFT. A cada banda se le asigna un número de bits para reducir el ruido total de cuantización, esto se realiza en el bloque de asignación de bits y cuantización. El último bloque empaqueta la información anterior y añade los datos auxiliares en la trama. En la Fig. 3.10 se muestra un diagrama de bloque del diagrama de la compresión de audio.

Este estándar tiene la flexibilidad de transmitir canales monoaurales, en estéreo, o canales con diferentes idiomas, y es capaz de adaptarse para la transmisión de sonido multicanal (sonido surround 5+1 y 7+1). La velocidad de transmisión puede variar de entre 32 a 192 kbps para señales monoaurales y entre 128 y 384 kbps para señales estereofónicas.

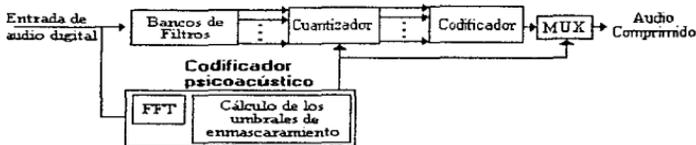


Fig 3.10 Compresor de audio

Transporte

La información comprimida del audio y video se agrupa en cadenas de bits llamadas PES (Packetised Elementary Streams), con un reloj base de 27 MHz. Los PES se agrupan en una base común de tiempo formando cadenas de programa o cadenas de transporte.

Las cadenas de programa fueron diseñadas para usarse en aplicaciones libres de ruido como software de procesamiento. Las cadenas de transporte fueron diseñadas para ser transmitidas en medios ruidosos, además de poder llevar la información de un gran número de fuentes, como varios canales de televisión. Para lograr esto, la cadena de transporte necesita un encabezado, el cual indica al receptor donde se encuentra cada programa de televisión.

A la cadena de transporte se le agrega información adicional, como el tipo de programa, horarios etc. Esta cadena de transporte es ideal para llevar una gran cantidad de canales de televisión en medios como el cable o el satélite. La figura 3.11 muestra el proceso de multiplexaje para formar las cadenas de transporte.

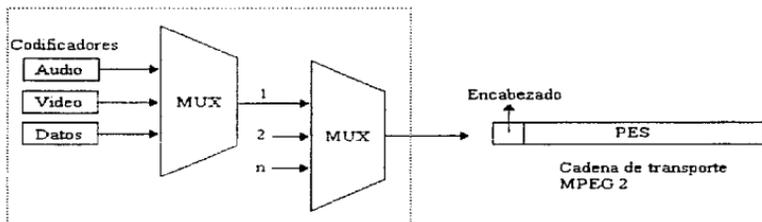


Fig 3.11 Codificador fuente y multiplexor para formar las cadenas de transporte MPEG-2

Multiplexación estadística

MPEG-2 utiliza multiplexación estadística. Este es un método dinámico de asignación de ancho de banda. A cada programa se le asigna un ancho de banda dependiendo de su contenido en cada momento. Así, programas con más acción tendrán más ancho de banda que programas con menos movimiento. Esta técnica permite transmitir entre 10 y 30% más canales en el mismo ancho de banda, o transmitir los mismos canales con más alta calidad.

Transmisión de películas

Para transmitir películas que estén en el formato video compuesto NTSC a 60 campos/seg se necesita pasar la imagen de entrelazado a no entrelazado, quedando de 30 cuadros/seg., después se quitan los 6 cuadros de redundancia, quedando el material a 24 cuadros/seg. y se cambia de formato video compuesto a video en componentes 4:2:0, y se transmite. El IRD realiza en proceso de 3:2 pulldown, en el cual se insertan 6 cuadros/seg más para llegar a 30 cuadros/seg, después se entrelaza y se pasa a video compuesto NTSC. La figura 3.12 explica el proceso anterior.

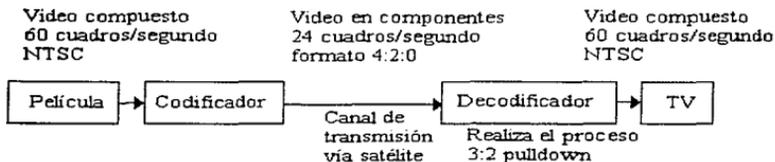


Fig 3.12 Proceso para las transmisión de películas vía satélite usando el estándar MPEG-2

Actualmente existen tres sistemas para la transmisión de televisión digital vía satélite basados en MPEG-2, DVB, DigiCipher I y II, y DSS. El estándar para HDTV de la Gran Alianza también está basado en MPEG-2. El único que no se basa en MPEG-2 es el sistema MUSE de NHK utilizado en Japón.

3.5 Estándares de difusión de televisión digital vía satélite

3.5.1 Estándar DVB

El estándar DVB (Digital Video Broadcast) fue desarrollado en Europa. El proyecto incluye actualmente cerca de 179 organizaciones de 21 países, de todas las regiones del mundo.

El estándar DVB establece las características técnicas necesarias para la introducción de sistemas de compresión y transmisión de televisión digital, con el fin de mejorar la calidad de las señales y utilizar mejor el ancho de banda disponible. El estándar DVB incluye transmisión vía satélite, vía cable y vía terrestre.

El sistema está diseñado para contener combinaciones flexibles de video, audio y datos codificados en el estándar MPEG-2 (nivel principal, perfil principal).

Estándares

El estándar DVB se divide en tres: DVB-S para transmisión vía satélite, DVB-C para transmisión por cable y DVB-T para transmisión por tierra.

Los estándares aprobados por la ETSI en relación a la difusión de televisión digital vía satélite son:

DVB-S Sistema para difusión de televisión digital via satélite en banda Ku. ETS 300 421 Diciembre de 1994.

DVB-CS Sistema para difusión de televisión, sonido y datos digitales para servicios de distribución SMATV (Satellite Master Antenna Television) ETS 300 473, Mayo de 1995. En esta norma se describe la adaptación de la señal del satélite para distribuirla por cable.

DVB-SI Sistema para difusión de sonido y datos. Especificación para el SI (Service Information) en DVB. ETS 300 468, Octubre 1995. Estandariza el EPG.

El estándar DVB-S es reconocido por la UIT en sus recomendaciones para la transmisión de televisión digital para satélites en la banda Ku. El estándar DVB pretende unificar los servicios de difusión de televisión que hasta ahora se encuentran divididos por los diferentes estándares analógicos.

Codificación de canal y transporte

Las tramas básicas del sistema DVB se basan en los paquetes de transporte de MPEG-2, estos paquetes contienen 188 bytes incluyendo el PSI (Program Specific Information), el cual permite decodificar la información. El PSI contiene la información necesaria para configurar el IRD y que éste sea capaz de recibir algún servicio en particular, como televisión interactiva o video bajo demanda (VOD).

MPEG-2 permite transmitir un sistema de información del servicio (SI) como complemento del PSI, el cual ayuda al usuario a usar los servicios de DVB. Una parte del SI lo conforma el EPG (Electronic Program Guide) que es una de las novedades de los servicios de televisión digital. El EPG transmite la siguiente información: cadena distribuidora, canal, programa, tipo de programa, proveedor del servicio, horarios, y texto de descripción.

Además, el SI contiene las características técnicas que cada prestador de servicios necesita tales como la frecuencia exacta de difusión, el código FEC usado, la velocidad de transmisión y identificación de servicios en canales multiplexados (parámetros de modulación). Lo anterior permite al software del IRD reconfigurarse completa y automáticamente cuando los parámetros de la difusión cambien (por ejemplo un cambio de transpondedor en el satélite).

El SI se basa en cuatro tablas:

- NIT (Network Information Table): Contiene información técnica del prestador del servicio que permite configurar el IRD.
- SDT (Service Description Table): Contiene los nombres y parámetros asociados con cada servicio en el multiplex MPEG-2.
- EIT (Event Information Table): Contiene información acerca de un evento en el multiplex MPEG-2.
- TDT (Time Data Table): Contiene información que permite actualizar el reloj interno del IRD.

Además existen otras tres tablas SI opcionales y más sofisticadas:

- BAT (Bouquet Association Table): Esta tabla permite ofrecer servicios grupales y permite al IRD conocer los servicios disponibles para el espectador.
- RST (Running Status Table): Esta permite la actualización rápida del estatus de uno o más eventos. La tabla solo se transmite cuando cambia el estado de un programa.
- STS: (Stuffing Tables): Contiene información para invalidar, reemplazar o completar otras tablas SI.

El sistema DVB-S fue diseñado para dar servicios de DTH en las bandas de BSS y FSS así como para la alimentación de sistemas de antena colectiva (SMAT). Estos sistemas permiten incrementar considerablemente el número de canales disponibles en un satélite.

El sistema DVB-S tiene las siguientes características:

- Transmisión multicanal.
- Uso de TDM y SCPC.
- Capacidad para adaptarse a los anchos de banda de los diferentes transpondedores (26 a 72 MHz).
- Tasa de transmisión variable, lo que permite la transmisión de diferentes calidades de imagen, y el uso de pequeñas antenas de recepción (60-90 cm).

Estas características permiten realizar un balance entre el uso eficiente del espectro (altas tasas de transmisión) y el uso eficiente de la potencia (posibilidad de trabajar con niveles de C/N bajos). Una de las características que se tomó en cuenta es la no-linealidad del canal, debido al uso de TWTA que operan cercanos a saturación con el fin de utilizar al máximo la potencia disponible.

El sistema de codificación de canal y modulación está definido por el estándar ETS 30042. La codificación de canal modifica la información, de manera que esta pueda ser transmitida por un canal RF vía satélite. El esquema de codificación se basa en la concatenación de 2 códigos correctores de errores, código externo y código interno, esto permite corregir más errores mediante una implementación más sencilla que si sólo se usara un código corrector de errores más poderoso.

La figura 3.13 muestra el diagrama de bloques del proceso que se describe a continuación:

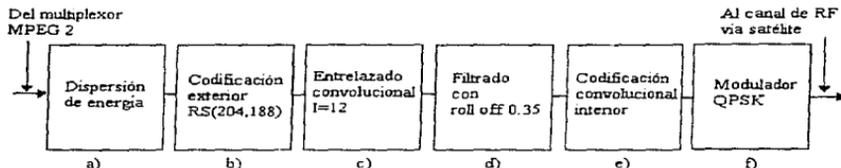


Fig 3.13 Codificación de canal y modulación

a) Se invierte el byte de sincronización cada 8 paquetes, lo que permite llevar una sincronización de las secuencias pseudoaleatorias. Se multiplica la información por secuencias pseudoaleatorias a fin de facilitar la recuperación del reloj. Este proceso, conocido como dispersión de energía, no se aplica a los bits de sincronía. Ver figura 3.7 inciso i) y ii).

b) Se codifica cada paquete mediante el proceso de Reed-Solomon (204,188, T=8). Esto significa que se agregan 16 bytes de redundancia. Este proceso se llama codificación externa y permite corregir hasta 8 bytes en secuencias de 204 bytes. Este código corrector de errores es de tipo BCH, fue diseñado para manejar símbolos (bytes en este caso) por lo que esta orientado a corregir errores en ráfaga. Ver figura 3.14 inciso iii).

c) Se aplica un entrelazado convolucional de profundidad 12, este proceso permite mejorar el desempeño de la codificación Reed-Solomon ante ruidos en forma de ráfaga que se presenten a la salida del código interno. La figura 3.15 muestra un entrelazador y un desentrelazador de profundidad 12.

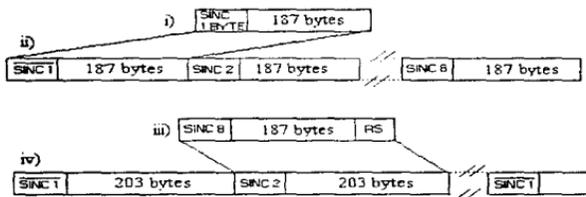


Fig 3.14 i) Cadena de transporte MPEG-2 de 188 bytes, ii) series de 8 paquetes después del proceso de dispersión de energía, iii) codificación Reed Solomon iv) serie de 8 paquetes después de la codificación Reed Solomon.

d) Se aplica un código convolucional de corrección de errores, conocido con código interno. El código convolucional más usado es el Viterbi. La selección del código Viterbi depende de las necesidades de cada proveedor. (1/2,.....7/8).

e) Se pasa la señal por un filtro cuadrático de coseno alzado con un factor de roll off (factor de corte) de 0.35.

f) Se modula la señal en QPSK Gray convencional. La modulación QPSK (2 bits/símbolo) ofrece una transmisión robusta y permite realizar adaptaciones al hardware ya existente.

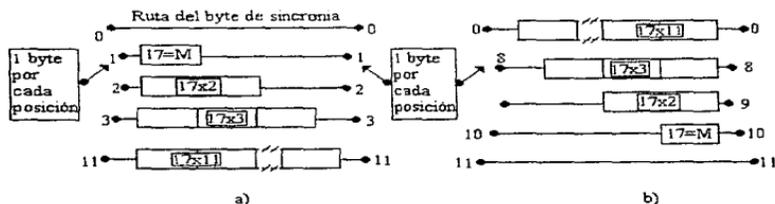


Fig 3.15 a) entrelazador , b)desentrelazador

El estándar DVB-S permite seleccionar los siguientes parámetros, a fin de adecuarse a los parámetros de transmisión del transpondedor del satélite:

- frecuencia de la portadora(GHz)
- polarización
- código convolucional para corrección de errores(1/2, 2/3, 3/4, 5/6, ó 7/8)
- tasa de transmisión

Los cinco diferentes códigos convolucionales permiten variar la cantidad de redundancia que se le añade al MPEG-2. Lo anterior permite adaptarse a las condiciones de potencia, tamaño del plato receptor o tasa de transmisión disponible a fin de obtener la relación Eb/No necesaria en el IRD.

El sistema DVB-S está pensado para usarse en canales SCPC con TDM, sin embargo se puede usar FDM para que varios sitios suban su señal desde diferentes lugares, con el inconveniente no poder usar el transpondedor a saturación.

Capacidades

DVB utiliza video codificado en MPEG-2 (nivel principal, perfil principal), el cual permite manejar video con una velocidad hasta de 15 Mbps. DVB utiliza multiplexación estadística lo que permite asignar a cada programa una tasa de transmisión de acuerdo a su contenido.

Un transpondedor que cuente con un ancho de banda de 33 MHz, es capaz de soportar una tasa de 27 Mbauds, con QPSK cada baud representa 2 bits. lo que permite una velocidad de 54 Mbps. La utilización de un código convolucional de $\frac{3}{4}$ (que significa 25% de redundancia) permite el uso de 41.25 Mbits. En la codificación Reed Solomon solo 188 bytes de cada 204 contiene información, con lo cual quedan 38,015 Mbits para transmitir en la cadena de bits de transporte del MPEG-2. De acuerdo a lo anterior, un transpondedor sería capaz de transmitir:

- 4 - 18 canales de video de 2 a 9 Mbps
- 190 estaciones de radio de 192 kbps
- 590 canales de datos de 64 kbps
- 15800 canales de datos de 15800 kbps

La SES (Sociedad Europea de Satélites) espera que se puedan transmitir entre 6 y 8 canales de televisión en un transpondedor de los satélites Astra (entre 4.75 y 6.35 bits para cada canal). Esta configuración no ofrece una calidad de imagen tan buena como se ofrecería con velocidades de 9.5 Mbps.

El primer satélite diseñado específicamente para DVB fue lanzado en 1995 y fue el ASTRA 1E. Actualmente el estándar DVB es usado en E.U. por EchoStar, en América Latina por Sky, en toda Europa, en Australia y partes de Asia.

Instalaciones de antena comunitaria (DVB-CS)

Si tanto el satélite como el sistema de cable usan la misma tasa de transmisión entonces se puede alimentar a un sistema de cable via satélite sólo con un remodulador de QPSK a QAM (modulación usada en DVB-C), sin tener que alterar en nada la cadena de transporte de MPEG-2.

Existen 2 procedimientos para el uso de DVB-S en instalaciones comunitarias.

Sistema A: Se remodula la señal DVB-S en DVB-C y a cada usuario debe tener un receptor para DVB-C. Este sistema se conoce como SMATV-DTM (DTM: Digital Transmodulation). Existe la opción de realizar algún tipo de procesamiento de la señal en el extremo del proveedor de cable. Este tipo de sistema se utiliza en grandes instalaciones o redes de distribución.

Sistema B: La señal que se recibe del satélite se traslada a una frecuencia intermedia. Luego se pasa a banda S (230-470 MHz), dejándola en QPSK. Esta opción es la más barata.

Acceso condicional

El estándar DVB tiene un procedimiento de descryptamiento y decodificación común. Este procedimiento es una combinación de cifrado de bloque de 64 bits y un algoritmo de cifrado de cadena. Los detalles del procedimiento son secretos.

El descryptamiento se basa en mensajes que trae la cadena de transporte. Con esto se maneja la activación de los suscriptores y el estatus del receptor.

3.5.2 Estándar DigiCipher I y DigiCipher II

El sistema DigiCipher I NTSC-TV es un sistema multicanal para transmisión de televisión via satélite. En un ancho de banda de 24 MHz puede llevar información a 26,9 Mbps (39 Mbps con codificación interna y externa). Utiliza modulación QPSK con una tasa de símbolos de 19,5 Mbauds. Esto le permite llevar un máximo de hasta 10 canales NTSC.

Para corrección de errores utiliza un código convolucional $\frac{3}{4}$ como código interno y un código Reed Solomon (122,115) como código externo.

El estándar DigiCipher I se basa en la sintaxis de MPEG-2, usa macrobloques más pequeños para la predicción y no usa imágenes tipo B. Esto permite usar memorias de 1 Mbps en lugar de las memorias de 2 Mbps usadas en los sistemas DVB. Las imágenes tipo B permiten mejorar la calidad de la imagen, pero introducen retraso en la señal.

El estándar DigiCipher II será usado por PrimeStar en su segunda etapa. Actualmente esta empresa utiliza el estándar DigiCipher I.

El nuevo estándar DigiCipher II puede manejar el estándar de la GI y la sintaxis del video DVB.

Los sistemas DigiCipher II reúnen los siguientes aspectos de los estándares MPEG-2, ATSC y SCTE:

- Codificación de video MPEG-2 (ATSC A/53 Anexo, SCTE DVS 033)
- Sonido Dolby Digital AC-3 (ATSC A/53 Anexo B, SCTE DVS 018 Anexo B)
- Cadena de transporte MPEG-2 (ATSC A/53 Anexo C)
- Sistema de información (SI) (ATSC A/56, SCTE DVS 022 y 011)
- Subtítulos (SCTE DVS 026)
- Modulación QPSK y Códigos FEC (ITU-R Recomendación [11/38] System C)
- Encriptación de datos (DES: Data Encryption Standard): Cadena de cifrado por bloques.
- Control de acceso: DigiCipher II

a) Codificación de video MPEG-2

A pesar de que los codificadores DigiCipher II se basan en la codificación que define MPEG-2, estos tienen la capacidad de mejorar la calidad de la imagen por medio de técnicas de estimación de movimiento completas, que dan mejores resultados sobre las técnicas de estimación de movimiento jerárquicas comúnmente utilizadas en MPEG-2.

b) Sonido Dolby Digital AC-3

El sistema Dolby AC-3 codifica sonidos estéreo a 192 kbps, sistemas 5.1 a 329 kbps y es compatible con el sistema 7.1 y Dolby Pro Logic Surround. Este sistema es usado en los estándares ATSC y SCTE.

c) Control de acceso y seguridad

Este estándar utiliza en circuito VLSI no reusable de una sola pieza, lo que dificulta su alteración con fines de piratería. Además utiliza códigos criptográficos, llaves jerárquicas y variantes en el tiempo. El sistema de control ofrece funciones de bloqueo regional, servicios de pago por evento y protección contra copia de programas de pago por evento.

d) Sistema de información (SI)

El sistema de información es similar al usado en el sistema DVB, este sistema de información proporciona información técnica para la configuración del IRD y una guía electrónica de programas (EPG). El formato de texto utiliza los caracteres del estándar ISO/IEC 10646-1, lo que permite la transmisión en cualquier idioma.

3.5.3 Estándar DSS

Este sistema está basado en el estándar MPEG-2 para audio y video. Es usado por las empresas DirecTV y USSB en los Estados Unidos.

El video que transmite el sistema es superior al de cable, pero no tan bueno como el de un laserdisc.

La mayoría de la programación se codifica usando 544 píxeles por línea y 480 líneas por cuadro, tanto para 24 o 30 cuadros por segundo. Utiliza el MPEG-2 nivel principal y perfil principal con 8 bits por muestra, lo cual permite 16.7 millones de colores simultáneamente. Como las señales que alimentan al sistema de DirecTV son analógicas y provienen de satélites en banda C, su ancho de banda efectivo es de aproximadamente 5 MHz, por lo que es suficiente muestrear a una tasa de 544 píxeles por línea, para cubrir todo el espectro de la señal.

Los tamaños de imagen que se pueden transmitir son: a) horizontal: 720, 640, 544, 480, y 352 píxeles por línea b) vertical: 240 ó 480 líneas por cuadro.

Los decodificadores del sistema DSS son fabricados por varias empresas. Estos decodificadores tienen básicamente el mismo funcionamiento aunque existen ligeras diferencias al aplicar la DCT inversa y convertir la señal a NTSC.

El sistema DSS asigna de 3 a 4 Mbps para canales de pago por evento, de 6 a 7.5 Mbps para deportes o programas de alta prioridad y de 4 a 5 Mbps para los otros programas.

Un transpondedor de 240 Watts y 24 MHz tienen capacidad de llevar hasta 30 Mbps para video, lo cual permite la siguiente combinación de programas: 2 películas de pago por evento a 4 Mbps cada una, 2 programas de variedades a 5 Mbps cada uno y 2 programas de deportes a 6 Mbps cada uno.

El sistema DSS utiliza sonido MPEG-1 a 224 kbps. Antes de comprimir los canales estéreo, estos son codificados en Dolby Pro-Logic.

El ancho de banda disponible en la banda Ku de alta potencia es de 450 MHz. Esto dividido entre transpondedores de 24 MHz permite 16 transpondedores. Usando doble polarización pueden existir 32 transpondedores. Cada transpondedor lleva un promedio de 6 programas, y algunos transpondedores llevan varios canales de música.

Las señales son moduladas en QPSK, lo que permite transmitir 40 Mbps en cada transpondedor de 24 MHz. De los 40 Mbps, 30 Mbps llevan carga útil, los otros 10 Mbps son bits de redundancia (Reed Solomon y Viterbi). Los transpondedores de baja potencia (120 W) llevan solo 23 Mbits/seg de carga útil.

El sistema DSS utiliza 3 satélites ya que para llevar una gran cantidad de canales vía satélite se necesitan 32 transpondedores de 240 W por transpondedor. Esto implica tener una fuente de potencia muy grande. Debido a que los paneles solares no cumplen estos requerimientos, el sistema DSS en E.U. dividió el ancho de banda entre 3 satélites a fin de aprovechar al máximo su posición orbital.

DSS es muy parecido a DVB. Utiliza 147 bytes en vez de 188 bytes, misma modulación, misma protección contra errores de hecho se podrían hacer codificadores que soportaran ambos estándares.

Los paquetes se conforman de la siguiente manera:

- Carga útil : 127 bytes
- Encabezado: 3 bytes
- Codificación externa: Código Reed Solomon que aporta 17 bytes
- Longitud del paquete 147 bytes (sin codificación convolucional).
- Codificación externa: Código convolucional 6/7 que aporta 24.5 bytes
- Total 171.5 bytes = 1372 bits, 686 símbolos QPSK por segundo.

Cada cadena de bits se compone de cuatro partes que se explican a continuación. La figura 3.16 muestra dicha cadena de bits.

- a) Identificación del servicio del canal (SCID Service Channel ID): Identifica a qué canal pertenece el paquete de datos.
- b) Banderas y Contador de continuidad: La bandera indica si el paquete está o no encriptado y la llave de acceso, el contador de tipo secuencial indica cuándo se debe usar el paquete.
- c) Carga útil para video, audio y datos.
- d) Bytes de redundancia del código Reed-Solomon, para corrección de errores. A este número de le agregan los bits de redundancia del código convolucional.

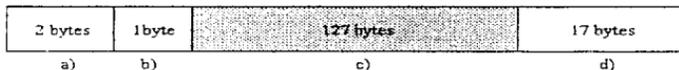


Fig. 3.16 Cadena de bits del sistema DSS

El chip Macrovision es el encargado de pasar de video en componentes a video compuesto NTSC. También realiza funciones de decodificación de programas protegidos.

3.5.4 Calidad del video digital

La calidad del video depende principalmente de tres factores: a) la cantidad de información contenida en el material fuente, b) calidad del codificador c) tasa de muestreo usada para digitalizar la imagen.

A fin de ahorrar ancho de banda en el transpondedor, los programas de televisión se digitalizan con diferentes formatos dependiendo del tipo de información que contengan. La tabla 3.7 muestra las velocidades de transmisión típicas para diferentes tipos de programas.

Tabla 3.7 Formatos y velocidades más comunes en los servicios de DTH

Cuadros/seg	Formato	Velocidad	Características	Uso
24	352x480	2-4 Mbps	Mitad de resolución horizontal o imágenes progresivas	Caricaturas Películas
30	544x480	4-6 Mbps	Digitalización de imágenes via satélite (banda C).	Programas con calidad SDTV
30	704x480	6-9 Mbps	Formato 4:2:0	Deportes Eventos especiales

Para dar una idea de la resolución utilizada en los diferentes tipos de programas, la tabla 3.8 presenta una comparación entre las resoluciones usadas en varios medios de almacenamiento y difusión de video:

Tabla 3.8 Calidad de video en distintos medios de almacenamiento

	Densidad de líneas	Muestras/linea
Laserdisc	560	330
VHS	425	250
MPEG-1	264 max	352
MPEG-2 (MP@ML)	540 max	720

El servicio DirecTV de Estados Unidos y otros competidores

4.1 Sistemas de DBS

Un sistema DBS es un nuevo tipo de servicio para televisión, disponible en cada vez más países. Este servicio permite la recepción de programación digital directa desde el satélite en pequeños platos receptores (de 45 cm a 90 cm de diámetro), los cuales no son móviles sino que apuntan en dirección fija hacia una determinada posición orbital, por lo tanto la espera en el despliegue de la imagen es mínima, en contraste con los sistemas en banda C.

Las señales están digitalmente comprimidas, permitiendo que varios programas sean difundidos desde un solo transpondedor. De esta manera se pueden recibir hasta 200 canales con un solo plato apuntando a una determinada posición en el cielo. La programación de cada proveedor incluye en su mayoría programación de los principales servicios por cable, deportes, películas de pago por evento, canales de audio, y programación regional dedicada a audiencias menores. A estos servicios usualmente se les refiere como servicios Directos al Hogar (DTH), pero el término servicios de Difusión Directa por Satélite (DBS) es, generalmente, más usado.

Hace varios años la FCC reservó, para los Estados Unidos, una porción del espectro y varias posiciones orbitales para el servicio de televisión digital llamado Direct Broadcast Satellite (DBS). Las posiciones de los satélites están espaciadas nueve grados de los otros difusores en los mismos rangos de frecuencia (en vez de dos grados para los satélites convencionales), lo cual permite a estos satélites difundir con una potencia más alta, dando una recepción libre de interferencias en platos parabólicos muy pequeños, siendo la anterior la definición dada por la misma FCC de DBS.

También es posible para compañías que no tienen licencia de difusores de DBS ofrecer servicios de DTH desde los satélites convencionales. Para el consumidor estos servicios se verán idénticos que los de un difusor de DBS con licencia, con la excepción de que generalmente se requiere un plato algo grande (aunque mucho menor que los tradicionales) y también requiere de instalación profesional. Como resultado, la definición de DBS se utiliza ahora para cualquier servicio DTH que utilice pequeños platos para recepción satelital en una determinada posición pero el término DBS cuando es usado por la FCC se refiere únicamente a los servicios de DBS.

La FCC reservó 8 posiciones orbitales en el plano ecuatorial para los servicios de DBS de alta potencia en los E.U. De estas posiciones, cuatro son para dar servicio a la costa este y cuatro sobre la costa oeste. En cada una de estas ranuras la FCC permite un máximo de 32 frecuencias de difusión (transpondedores). La FCC asigna las frecuencias de DBS a los solicitantes de forma que sea igual el número de posiciones para el este que para el Oeste. La idea es que cada compañía pueda proveer de servicio a todos los E.U., en la parte continental, difundiendo desde sus satélites situados al este y al Oeste.

Sin embargo, con la tecnología actual, 3 de las cuatros posiciones de la parte este (101° Oeste, 110° Oeste, y 119° Oeste) están en longitudes que dan cobertura completa a la parte continental de los E.U. Por lo tanto, estas son las ranuras más codiciadas.

4.2 Servicios de DBS disponibles actualmente en los Estados Unidos

Existen actualmente 3 sistemas de DBS totalmente digitales operando en los E.U. : PrimeStar, DirecTV/USSB, EchoStar/Sky Angel, y anteriormente AlphaStar. En la tabla 4.1 se da una introducción a las características de los servicios.

4.2.1 PrimeStar

El sistema PrimeStar es ofrecido por un grupo de operadores de varios sistemas de televisión por cable. PrimeStar opera con satélites convencionales usando platos de 68-91 cm. Este sistema ha sido muy exitoso registrando casi 2 millones de suscriptores y capturando más del 40% del mercado de DBS en sus dos primeros años de operación digital.

El servicio PrimeStar ofrece hasta 160 canales digitales. Fue el primer sistema de DBS y comenzó con 30 canales analógicos hace ya varios años. El sistema se mudó a digital en 1994 y fue el primer sistema digital, adelantándose a DirecTV y USSB por unas cuantas semanas.

Tabla 4.1 Servicios actuales de DBS en los E.U.

Características	DirecTV/USSB	EchoStar/Sky Angel	AlphaStar	PrimeStar
Capacidad de canales	hasta 200	hasta 130	hasta 100	hasta 160 (en un futuro)
Tecnología	DSS-MPEG-2	DVB	DVB	DC-I y DC-II (De General Instruments)
Número de satélites	3 satélites de alta potencia	2 satélites de alta potencia	1 satélite de media potencia	1 satélite de media potencia (1 satélite de alta potencia en 1998)
Características del sistema y antena	45 cm	45 cm	61 cm	68.58 a 121.92 cm
Propiedad del equipo receptor	Usuario	Usuario	Usuario	Renta o usuario
Compañías propietarias	Hughes General Motors	Echosphere	Tee-Comm	Seis de las mayores compañías de cable y una de satélites

Actualmente está en más de 1.9 millones de hogares. Su éxito se debe principalmente a que el consumidor no necesita comprar el decodificador, ni el plato. En vez de eso, el equipo se renta y la renta se incluye en la mensualidad del servicio. Opera con un satélite convencional de media potencia por lo que usan un plato de 90 cm de diámetro en promedio que debe ser instalado por un profesional. Próximamente comenzarán a usar un plato menor, de aproximadamente 68 cm .

El sistema PrimeStar utilizaba a su inicio el satélite de media potencia Satcom K1 que usaba el sistema de difusión digital DigiCipher 1 de General Instruments. Actualmente este servicio opera con el satélite de media potencia GE-2, el cual se localiza en la posición 85° Oeste. Con esto, y con un nuevo satélite de alta potencia, podrá incrementar su número de canales a aproximadamente 160.

Los decodificadores de PrimeStar son manufacturados por General Instruments. Sus decodificadores son actualizables en cuanto a la parte física se refiere, es decir, se le pueden acoplar otros módulos sin necesidad de cambiar componentes. Planean cambiar a un nuevo sistema basado en el MPEG-2 llamado DigiCipher 2.

PrimeStar y TCI Satellite Entertainment (TSAT) están finalizando los planes para introducir un segundo servicio satelital a finales de 1997. Este otro servicio utilizará 11 transpondedores de un satélite de alta potencia en la ranura de 119°O, el cual fue lanzado en marzo de 1997. Los nuevos servicios se recibirán en un plato de 35 cm, el más pequeño en la industria satelital. Inicialmente proveerá de 70 a 80 canales de programación. Posteriormente utilizando nuevos avances en las técnicas de compresión, TSAT espera al final aumentar el número de canales disponibles a más de 150.

4.2.2 DirecTV/USSB

El segundo servicio es proporcionado por dos compañías por separado, DirecTV (subsidiaria de Hughes Communications) y la Compañía de Difusión por Satélite de los Estados Unidos (USSB).

El sistema DirecTV fue lanzado el verano de 1994. De acuerdo a las estadísticas de la industria, el sistema DSS (Direct Satellite Service) ha sido el producto que más rápido se ha vendido al entrar al mercado, más rápido que la televisión a colores, los reproductores de discos compactos o las videograbadoras.

El sistema DSS consiste en: a) un pequeño plato parabólico, el cual funciona como una antena para recepción de la señal proveniente del satélite), b) un receptor/decodificador digital integrado (IRD), el cual separa cada canal, descomprime y transforma la señal digital en analógica para que el televisor la pueda desplegar, y c) un control remoto. En la Fig. 4.1 se muestran dos sistemas DSS, el izquierdo fabricado por SONY y el derecho por RCA.

Para unir el contenido de la programación, asegurar su calidad digital, y transmitir la señal al satélite, DirecTV creó uno de los más sofisticados centros de difusión en el mundo. La programación llega al centro de difusión de los proveedores(CNN, ESPN, etc.) vía satélite en la banda C, cable de fibra óptica y/o cinta digital. La mayoría de la programación recibida es inmediatamente digitalizada, encriptada, y subida a los satélites. Los satélites DBS retransmiten la señal hacia las estaciones terrenas, en otras palabras, a cada plato receptor en los hogares.

Algunos programas pueden ser grabados en cinta de video digital Betacam en el centro de difusión, para ser difundidos posteriormente.

Antes de que los programas grabados sean vistos por los consumidores, los técnicos usan un sofisticado equipo de postproducción para ver y analizar cada cinta y asegurar la calidad de audio y video. Posteriormente las cintas son cargadas en un sistema de manipulación robotizado de cintas, y la reproducción se comienza por una señal computarizada enviada desde el sistema automático de difusión. Un equipo de reproducción de respaldo asegura la transmisión ininterrumpida.

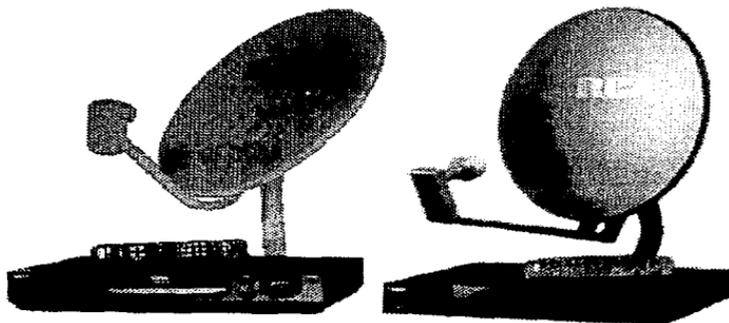


Fig. 4.1 Sistemas de DSS

Se utiliza tecnología MPEG-2, el estándar actualmente usado para difusión digital, (visto en la sección 3.5.3 aplicado al sistema DSS) para comprimir imágenes en movimiento, por lo que toma una pequeña fracción del ancho de banda en el transpondedor que normalmente ocuparía un canal de televisión analógica. Las imágenes digitales no comprimidas pueden ser muy grandes. Aún comprimidas, las imágenes digitales en movimiento son muy grandes. Se puede considerar la siguiente comparación : un módem puede transmitir información a alrededor de 14 000 bits por segundo. En DirecTV, cada uno de los transpondedores en el DBS-1 puede mandar más de 23 millones de bits de información por segundo a un sistema DSS, o cerca de 2000 veces de lo que lo hace un módem normal de PC. Los satélites DBS-2 y DBS-3 son aun más rápidos, alrededor de 30 millones de bits por segundo cada uno. Esta capacidad de transmisión permite que DirecTV retransmita señales con mucho movimiento, usando una tasa mayor de transmisión.

Con el uso de DSS, DirecTV es completamente digital y compatible a futuro, de tal manera que los consumidores puedan adoptar las tecnologías recientes, tales como los servicios interactivos, relación de pantalla 16:9 y difusión de HDTV.

Los satélites de DBS tienen la capacidad difundir N-HDTV, para cuando entre formalmente, y los sistemas DSS están diseñados de tal manera que pueden ser actualizados para manejarla también.

El sistema de difusión de DirecTV

El telepuerto de Castle Rock, Colorado, provee los servicios de telemetría, rastreo y control para la flota de satélites de Galaxy en la banda Ku, y para los satélites en la banda Ku del sistema DirecTV. Once de las doce antenas monitorean sistemas de banda Ku y banda C. La doceava antena tiene un plato de trece metros con movimiento completo. Además ésta se utiliza para subir señales a los satélites de DirecTV y está como respaldo para los sistemas de rastreo, telemetría y control para la flota de satélites de DirecTV.

Para el sistema DirecTV en particular se dedica la siguiente infraestructura:

- Cuatro sistemas de antenas transmisoras de 13 metros, 6 antenas receptoras de seis metros para recepción en banda C, 2 antenas de 4.5 metros para recepción en banda Ku, y una antena receptora Torus de 10 metros, multubanda y multisatélite. En la Fig. 4.2 se muestra parte del patio de antenas del telepuerto.
- 54 Transmisores de alta potencia para el enlace de subida hacia el satélite.



Fig.4.2 Telepuerto de Castle Rock, Colorado, utilizado por el servicio DirecTV.

La programación está distribuida por tres satélites HS 601 de alta potencia (DBS-1, DBS-2, DBS-3) construidos por la empresa Hughes Electronics. Cada satélite cuenta con 16 transpondedores alimentados por amplificadores TWTA (Traveling Wave Tube Amplifier) de 120 watts en la banda Ku. El DBS-2 y DBS-3 están configurados para disponer de 8 transpondedores a 240 watts. Lo que da un total de 32 transpondedores. El DBS-1 difunde hasta 60 canales de la programación de DirecTV y más de 20 canales de USSB (United States Satellite Broadcasting Company). Los satélites DBS-2 y DBS-3 son usados exclusivamente por DirecTV para llevar el servicio hasta su capacidad actual de más de 175 canales. La figura 4.3 muestra el plan de frecuencias de DirecTV.

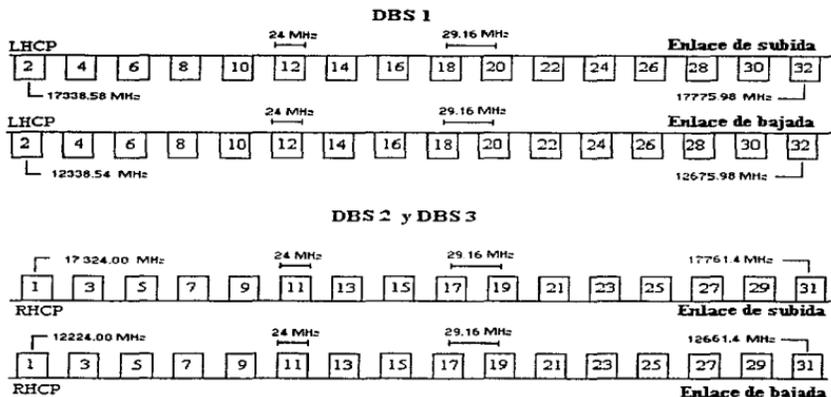


Fig 4.3 Plan de frecuencias de DirecTV

DirecTV vendió 5 de los 16 transpondedores del satélite DBS-1 de 120 watts a USSB, en los cuales se transmiten 22 canales. (Actualmente USSB posee 5/16 de uno del total de satélites ya que las Regulaciones Federales exigen a los difusores de DBS ser propietarios de sus recursos de difusión). Ambas compañías competidoras ofrecen programación que se puede recibir con un plato y decodificador común.

Los satélites operan en el ancho de banda asignado a la Difusión de Servicios por Satélite (BSS) en la banda Ku (12.2-12.7 GHz) y usan polarización circular. Pueden entregar de 53 a 58 dBW de potencia radiada sobre los E.U. y el sur de Canadá.

Cada satélite pesa 1.7 Tons. y mide 7.1 metros de ancho y 26 metros de largo con las antenas y los paneles solares desplegados. Los paneles solares generan 4300 watts de potencia eléctrica.

El sistema DSS utiliza una modulación QPSK para codificar los datos digitales en las portadoras de RF. El audio está codificado en MPEG-1 capa 2. El sonido surround se logra codificando el audio con Dolby Pro-Logic antes de la codificación en MPEG. El video está codificado utilizando sintaxis MPEG-2.

El sistema usa un codificador estadístico multiprogramas llamado StatMux que varía la tasa de bits de acuerdo al contenido del video tomando en consideración otros programas multiplexados en el mismo transpondedor.

La arquitectura DSS puede difundir 40 Mbps por transpondedor en dos modos de control de errores. En el modo alto, se destinan a 30 Mbps a la información y 10 Mbps al control de errores. En modo bajo, 23 Mbps se destinan a la información y 17 Mbps al control de errores. El modo alto requiere 3 dB más de potencia en la señal para lograr una disponibilidad extremo a extremo equivalente al modo bajo. En la sección 3.5.3 se describe más a fondo la tecnología usada por los sistemas DSS.

El DBS-1 funciona en modo bajo mientras que el DBS-2 y el DBS-3 funcionan en modo alto. Así DirecTV y USSB tienen 16 transpondedores a 240 watts en el modo alto y 16 a 120 watts en el modo bajo. Un cuarto satélite permitiría tener todos los satélites a 240 watts pero por el momento esto no está disponible. La figura 4.4 muestra la cobertura del satélite DBS-1.

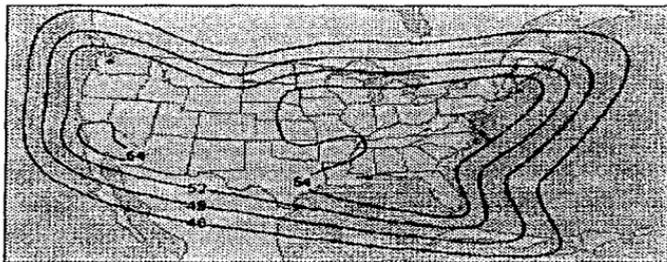


Fig 4.4 Huella del satélite DBS-1. Los valores corresponden al PIRE en decibelios

El equipo usado por DirecTV y USSB es llamado Sistema Digital de Satélite o DSS. Las marcas Sony, Thomson Consumer Electronics (propietario de las firmas Proscan, RCA y GE), Hughes Network Systems, Toshiba, Matsushita (Panasonic) y algunas otras construyen los equipos receptores. Algunas otras tienen licencia para venderlos: Uniden, Samsung, Daewoo. Los equipos son vendidos tanto por los distribuidores de DBS como por establecimientos revendedores de electrónica.

Los consumidores de DirecTV y USSB tienen que comprar sus decodificadores. Los precios varían entre los \$300 y \$600 dependiendo del modelo. Rebajas y otras promociones han disminuido el precio neto de algunos modelos debajo de los \$200 cuando se adquieren suscripciones de programación prepagada.

Cada fabricante de equipo de DSS diferencia su producto dando una interfaz única al usuario, su propia guía con diferente presentación y controles remotos diferentes. Las guías de programas contienen información tales como descripciones de próximos episodios. Cada fabricante puede elegir cuando incluir o no su lista de canales preferidos o control remoto universal.

AT&T también vende equipo de DSS y programación de DirecTV y USSB directamente a sus consumidores de larga distancia.

DirecTV y USSB comparten los derechos de las 32 frecuencias de difusión en la posición orbital de los 101° Oeste. Los canales manejados por cada servicio son únicos y no aparecen en otros servicios. Hay muy poca o nula programación gratuita en cada sistema.

Un ejemplo del tipo de programación que ofrece DirecTV es el siguiente:

- 70 canales de los mejores de cable
- 50 canales deportivos de suscripción
- 20 canales de interés especial
- 50 canales de películas pago por evento
- 10 canales promocionales
- 200 Total de canales

La Comisión Federal de Comunicaciones otorgó cinco frecuencias al USSB, por lo que difunde desde 5 transpondedores en uno de los satélites de 120 watts, lo que son alrededor de 25 canales. Su servicio está constituido principalmente de canales de Cine Premium incluyendo HBO y Showtime.

A DirecTV se le han otorgado 27 frecuencias, alrededor de 175 canales de programación que se puede dividir en cinco áreas: programación de cable, suscripción a deportes, servicios de música, películas de pago por evento, servicios especiales de interés. La base de la programación de DirecTV es la programación de cable.

DirecTV ofrece la cobertura disponible más amplia en deportes. Tienen suscripciones a los mayores eventos deportivos profesionales y algunos colegiales. Utilizan la naturaleza direccionable de los decodificadores: esto es, permitir la recepción sólo en ciertas áreas geográficas como fuera del área de cobertura local. Existen reglamentaciones locales que prohíben a los espectadores locales ver programas que están restringidos para esa área.

DirecTV ofrece películas de pago por evento en aproximadamente 50 canales con intervalos de inicio de aproximadamente 30 minutos. Los precios para las películas de pago por evento son de aproximadamente \$3 cuando se ordenan a través del control remoto de DSS y \$5 cuando se ordenan por teléfono.

El sistema DSS utiliza tecnología de protección contra copia de películas, la cual tiene como fin controlar cuando una película de pago por evento pueda o no ser copiada. El grado en que se usa no está establecido. USSB no tiene planes de proteger su programación, pero algunos programas de pago por evento podrían ser protegidos.

Los consumidores con más de un decodificador en su hogar pagan una cuota adicional de \$1 a \$5 Dlls por decodificador.

Para tener todos los servicios disponibles en el servicio DirecTV/USSB se requiere una conexión telefónica. La línea telefónica se usa para verificar la localización de la unidad DSS y controlar las restricciones impuestas por las ligas profesionales de deportes. También se requiere para adquirir películas a través del sistema de Impulso Pago por Evento (Impulse PPV) u otros eventos especiales.

4.2.3 EchoStar / Sky Angel

El tercer servicio es llamado EchoStar. Su plato de 45 cm, también opera con satélites especialmente diseñados para transmitir con alta potencia. Este servicio comenzó a ofrecerse en la primavera de 1996, por lo que ahora no cuenta con un gran mercado, pero está comenzando a hacerse popular rápidamente adquiriendo alrededor de medio millón de consumidores. El servicio EchoStar está sumando suscriptores en un promedio comparable a otros sistemas de DBS porque ha entrado al mercado con hardware barato y una programación muy popular, acorde a los suscriptores sensibles a los precios, y ha hecho que otros proveedores disminuyan sus precios de hardware y de programación.

La empresa Dominion se ha aliado con EchoStar para dar un servicio religioso cristiano de 8 canales llamado SkyAngel. Ambas compañías presentan su programación en la misma guía de programación como si fueran una sola. Por lo reciente de este servicio aún no se puede decir que tan exitoso ha sido.

EchoStar arrenda un transpondedor a Dominion para la transmisión de sus 8 canales. El servicio Sky Angel utiliza el mismo equipo de recepción que EchoStar.

EchoStar provee el segundo servicio de DBS de alta potencia en los E.U. Actualmente ofrecen alrededor de 100 canales en sus posición orbital de 119° Oeste donde controlan 21 frecuencias de transmisión. Sus satélites de alta potencia se llaman EchoStar-1 y EchoStar-2, transmiten en polarización circular derecha e izquierda, con cobertura en la parte continental de los E.U., sur de Canadá y el Norte de México. El satélite EchoStar 1 fue lanzado el 28 de diciembre de 1995 y el EchoStar II se lanzó el 10 de septiembre de 1996. El EchoStar III se lanzó en octubre de 1997. Sujeto a la aprobación de la FCC y otras condiciones, EchoStar tendría las posiciones de 61.5° O, 119° O, 148° O y 175° O, y controlaría frecuencias para DBS en los E.U., más que cualquier otro proveedor.

El servicio de EchoStar, llamado DISH (Digital Sky Highway) Network, utiliza un sistema basado en el estándar DVB, el cual se vende en \$200 Dlls. por el sistema básico y \$300 Dlls. cuando también se adquiere un plan de programación prepagada. Su decodificador tiene un puerto de datos de alta velocidad para uso futuro. El sistema puede ser instalado por el propietario, por lo que también se vende un kit de instalación.

El Sistema de difusión de EchoStar

El telepuerto de operaciones del sistema DISH se localiza en Cheyenne, Wyoming. En estas instalaciones se reciben las señales de video, audio y datos de diferentes satélites. Esta información es digitalizada para alimentar los satélites Echo1 y Echo2.

En este lugar hay 4 antenas de trece metros para subir las señales de televisión a los satélites del sistema DISH. Estas antenas están diseñadas para manejar las transmisiones de alta potencia requeridas por los satélites de DBS.

El Centro de enlace de subida entrega 150 canales, de video digital, audio y servicios de datos. Además, están las instalaciones para edición y producción, así como estudios disponibles para propósitos comerciales.

La figura 4.5 muestra una vista aérea de las antenas utilizadas en este telepuerto.



Fig. 4.5 Telepuerto de Cheyenne, Wyoming

4.2.4 AlphaStar

El cuarto servicio, AlphaStar, salió al mercado a principios de 1996, después de varios meses de retraso. Su número total de suscriptores al final de sus transmisiones era de aproximadamente 50 000, número demasiado pequeño en comparación con los demás servicios. Utilizaba un plato de 61 cm (esta dimensión podía variar) y operaba con satélites convencionales, además de que era el único para los residentes de Alaska y Hawaii. Usaba un sistema basado en DVB, como EchoStar, hecho por Tee-Comm Electronics. Se esperaba que en este año tuviese hasta 200 canales.

Este servicio se ofrecía por la empresa canadiense Tee-Comm. Transmitía 100 canales de servicios de audio y video hacia los platos de 61 cm desde el satélite Telstar 402R de al empresa AT&T, en la posición orbital de 89°.

AlphaStar se mudó al satélite Telstar 5 (T5) el 28 de julio. Todos los servicios se restablecieron el mismo día del cambio en la tarde. Antes de julio 28 el software V 2.36 se introdujo en todos los receptores activos de la red AlphaStar. Este software se cargó mientras se recibía la EPG (Electronic Program Guide) diariamente y fue totalmente transparente a los suscriptores. El software contenía una nueva configuración e información de canal la cual permitió que el plato fuera fácilmente redireccionado usando los canales 999 y 998 del T5.

Fue dejado un transpondedor en el T4 hasta los primeros días de agosto para que los usuarios pudieran cargar el software y posteriormente mudarse al T5.

A fines del mes de julio de 1997, ésta empresa comenzó a tener un serie de problemas financieros que tuvieron como consecuencia la interrupción del servicio. DirecTV regaló sistemas DSS a los ex-suscriptores del servicio AlphaStar. La infraestructura de esta empresa fue puesta a la venta y existe la posibilidad que esta infraestructura sea utilizada por algún nuevo sistema de DTH.

4.3 Tecnología integrada en el servicio del DBS

Decodificadores

Cada proveedor vende o renta el equipo de recepción que incluye un plato, un decodificador, y un control remoto. Un solo decodificador puede decodificar un solo canal a la vez, el cual puede ser enrutado a varias televisiones y/o videocaseteras distribuidas en el hogar. Se requiere de un decodificador aparte para cada televisión o videocasetera en la cual el suscriptor quiera recibir un canal diferente simultáneamente.

DirecTV, USSB, y EchoStar utilizan sistemas que permiten al suscriptor instalar su propio equipo, aunque muchos prefieren la instalación profesional. En el caso de PrimeStar y AlphaStar se requiere instalación profesional.

No existe una estandarización en el mundo del DBS. Cada servicio vende o renta sus propios decodificadores. Mientras muchas partes de los sistemas son comunes, cada cadena de bits difundida por un cierto proveedor contiene alguna información propietaria que únicamente su decodificador puede entender. Entonces para realizar un cambio de compañía es necesario adquirir un equipo diseñado para ese servicio.

No existe mucha diferencia en los sistemas que usan los proveedores de DBS ya que todos ofrecen una calidad semejante de audio y video.

Los platos de DBS se conectan a los decodificadores con cable coaxial. Los componentes electrónicos del plato tienen una o dos conexiones coaxiales dependiendo del modelo por lo que máximo se pueden conectar dos decodificadores a un plato.

La compañía Channel Master y probablemente otras compañías venden un multiswitch que toma ambas salidas del plato y permite que hasta 4 decodificadores le sean conectados. Cabe mencionar que la mayoría de las unidades base de la mayoría de los fabricantes solo pueden ser conectadas a un decodificador, así que se requiere de la unidad Deluxe para esta configuración.

Compresión

La tecnología analógica, sin compresión, sólo permitía la transmisión de un solo canal en un transpondedor, por lo que sólo se podrían tener 32 canales lo cual haría este sistema menos deseable. Los recientes avances en la tecnología de compresión digital de video en tiempo real, permiten la transmisión de un promedio de 6 canales desde un solo transpondedor, esto permite a los sistemas de DBS difundir aproximadamente 200 canales desde un solo lugar orbital en el cielo.

El número de canales que se pueden transmitir en un solo transpondedor depende de factores tales como la calidad de la imagen deseada (resolución), tasa de cuadros del material fuente, cantidad de movimiento en el material fuente, grado de artefactos visibles permitidos, y otros factores.

La programación que contiene cuadros con muchos objetos pequeños tal como un juego de basketball, puede ser comprimida de tal forma que quepan 3 ó 4 canales de este tipo sin que se noten los artificios digitales. La programación que contiene imágenes más

estáticas se pueden comprimir más, de 5 a 6 canales en un transpondedor. Las películas están filmadas a 24 cuadros por segundo, en vez de 30 para video, por lo que contienen menos material fuente. Además, la película no tiene entrelazado y es en general cuasiconstante de cuadro a cuadro. Como resultado, las películas se pueden comprimir aún más, de 7 a 8 en un transpondedor con calidad cercana a la del laserdisc.

Cada sistema de DBS transmite una cadena de bits la cual contiene audio comprimido, video comprimido, información de autorización, información de guía de programación, y otra información. El decodificador convierte la cadena de bits en audio y video que pueden ser desplegadas en una televisión. Cada servicio en particular requiere un decodificador diseñado para trabajar con sus sistema.

El equipo DSS y DISH fueron ambos diseñados para ser instalados fácilmente sin ayuda profesional. Los platos se pueden instalar en cualquier lugar en donde haya línea de vista directa al satélite. Cada servicio difunde todos sus canales desde una misma posición en el cielo por lo que el plato no necesita moverse. Los platos usualmente tienen una señal audible o un led intermitente para indicar la intensidad de la señal para ayudar a posicionarlo durante la instalación.

Aunque los propietarios pueden instalar el sistema, se recomienda que lo haga un profesional. Una instalación básica oscila entre los \$200 Dlls, al aumentar la complejidad de ésta el precio sube.

También están disponibles kits de instalación tanto para el DSS como para el DISH con un precio de aproximadamente \$70 Dlls. Este contiene, comúnmente, cables, una brújula, un conector telefónico T, y todo el equipo necesario para montar el plato y conectarlo. También se suele incluir una videocinta que muestra el proceso de instalación.

Acceso condicionado

En la mayoría de los sistemas, los decodificadores de DBS trabajan con una tarjeta procesadora del tamaño de una tarjeta de crédito llamada SmartCard (tarjeta inteligente), la cual se inserta al frente y permite al decodificador recibir la programación autorizada. La cadena de autorización es enviada en cada transpondedor en la cadena de transporte de MPEG-2. La tarjeta inteligente puede ser remplazada fácilmente por el propietario a un costo no muy alto, esto permite combatir la piratería.

Se han desarrollado tarjetas inteligentes piratas las cuales se venden principalmente en Canadá. Los otros sistemas de seguridad aún no han podido ser violados. DirecTV ha emitido varios CM (Electronic Counter Measures) los cuales apagan temporalmente las tarjetas piratas, además se distribuyen repuestos de tarjetas inteligentes las cuales se espera que hagan inservibles a las tarjetas piratas existentes.

Posiciones orbitales de los satélites y localización de los Centros de Señales en los sistemas DBS

Los satélites del sistema DirecTV/USSB están en la posición orbital 101° O, la cual está sobre una línea Norte/Sur que pasa al Oeste de Nebraska. Los platos en la porción central de los E.U. (tales como Texas o las Dakotas) ven al satélite directamente al sur. En la costa Este está un poco al Suroeste y en la costa Oeste un poco al Sureste.

El sistema USSB tiene sus instalaciones en Minnesota. Para el enlace de subida utilizan dos antenas Cassegrain de 9 metros.

Los satélites de EchoStar están en la posición orbital de los 119° O. Está sobre una línea norte/sur que pasa al Oeste de Nevada. Los platos en la costa Oeste verán al satélite directamente hacia el sur. Los demás lo verán al Suroeste.

El sistema EchoStar usa un enlace de subida totalmente digital, de \$40 millones de Dlls, localizado en Cheyenne, Wyoming.

Las instalaciones de AlphaStar para el enlace de subida al satélite se localizaban en Oxford, Connecticut las cuales compró recientemente a la empresa GTE Spacenet. Utilizan dos platos para enlaces de subida de 13 metros y uno para el enlace de bajada de Simulsat de 7 metros. AlphaStar utilizaba el satélite TelStar 5 localizado en la posición orbital 96.8° O.

PrimeStar utiliza el satélite GE2 que se localiza en la posición orbital 85° O.

La figura 4.6 ilustra la posición orbital de todos los satélites que ofrecen servicios de DTH digital a E.U.

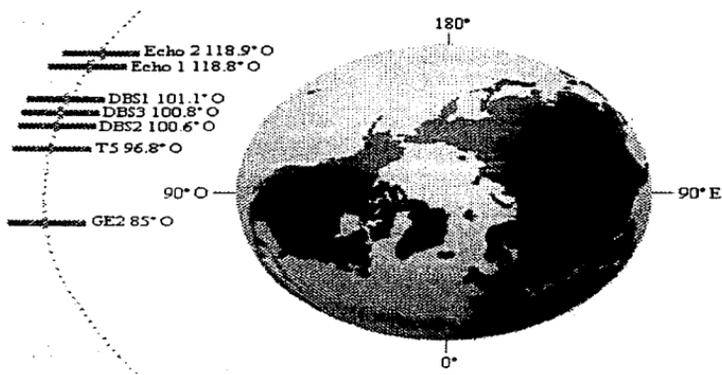
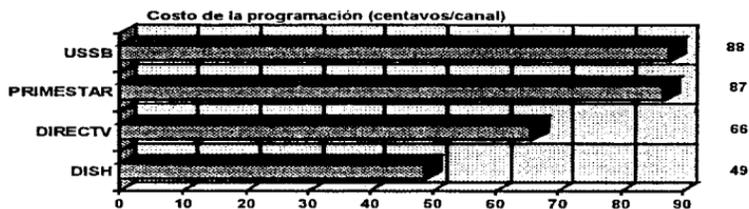


Fig 4.6 Posiciones orbitales de los satélites que proveen servicios de DTH digital en E.U.

4.4 Otros aspectos

Precios de la programación

Uno de los aspectos más importantes en la competencia entre los sistemas de televisión directa al hogar es la programación que ofrecen y el costo de la misma, la figura 4.7 nos muestra una comparación entre los costos de la programación de los diferentes proveedores del servicio de DTH.



*Fuente: Competitors Web Sites, mayo 14 de 1997. Los costos por canal están basados en una comparación de los paquetes de programación básica.

Fig 4.7 Comparación de costos de la programación de los servicios de DTH en E.U.

Principales desventajas de los sistemas de DBS en los E.U.

En la banda Ku, usada por los proveedores de DBS, pueden existir degradaciones significativas durante las tormentas eléctricas en los sistemas de DBS, por lo que los satélites requieren mandar más potencia a las áreas lluviosas para tratar de minimizar este problema, pero aun así existe.

Algunos artificios digitales pueden llegar a ser visibles, esto es completamente subjetivo, aunque estos artificios son inherentes a los servicios de DBS.

En los sistemas de cable el usuario puede ver un canal mientras graba otro, o programar su videocasetera para grabar dos canales diferentes mientras está ausente. Los sistemas de DBS, como muchos sistemas que utilizan decodificador, pueden decodificar solamente un canal a la vez. Para ver o grabar otro canal simultáneamente sería necesario adquirir otro decodificador. Además, algunos modelos no tienen un temporizador para usarse junto con el temporizador de la videocasetera para grabar más de un canal a la vez.

Muchos usuarios de la costa Oeste no están de acuerdo con que los programas aparezcan muy temprano, ya que la mayoría de la programación que usan los sistemas proviene de la costa este.

Aunque la mayoría de los decodificadores tienen opción para restricción de canales no aptos para menores, ocasionalmente se transmiten programas con violencia y sexo explícitos para todos los telespectadores, lo que hace que esta seguridad no cumpla totalmente con su objetivo.

Restricciones legales de recepción

Los canales locales no son transmitidos por ningún sistema de DBS, por lo que las noticias locales u otra programación local debe ser recibida por aire o por cable.

Un paquete de programación de red está disponible en la mayoría sino es que en todos los servicios, pero puede ser recibido legalmente sólo por una fracción de los consumidores de DBS.

La programación de red por satélite está disponible solo para aquellos fuera del área territorial especificada de los afiliados a la red como se especifica en el Acta del Telespectador por Satélite al Hogar (Satellite Home Viewer Act, SHVA) recientemente renovada en 1994. Aquellos que pueden recibir a los afiliados a la red no podrán adquirir este paquete.

De acuerdo al SHVA, si uno puede recibir la programación de la red con una antena aérea, uno no puede recibirla por el satélite. En caso de no ser así, uno no debe estar suscrito al sistema de cable por al menos 90 días.

Ventas y expectativas de los sistemas de DBS en los E.U.

DirecTV Y USSB aseguran tener más de dos millones y medio de decodificadores autorizados hasta la fecha, aumentando esta cantidad por miles todos los días. Sin embargo estas cifras son muy optimistas ya que están vendiendo en promedio a una tasa menor de la que habían pronosticado.

PrimeStar afirma tener alrededor de 1.8 millones de suscriptores hasta la fecha y esperan tener un crecimiento comparable al de DirecTV y USSB.

DirecTV ha predicho que en 6 años se habrán vendido de 10 a 12 millones de sistemas. USSB dice ser "conservadora" y esperan vender ¡40 millones! de unidades en 10 años.

DirecTV estima que comenzó a obtener beneficios a mediados de 1997 cuando alcanzó casi los 3 millones de suscriptores. USSB dice que alcanzará este punto cuando tenga 1.5 millones de suscriptores, el cual esperan alcanzar a finales de 1997.

EchoStar espera tener 3 millones de consumidores por al año 2000.

Comportamiento de los precios en los sistemas de DBS

Los precios de los decodificadores de DBS han caído drásticamente a últimas fechas en respuesta a que EchoStar introdujo precios muy bajos para competir. El equipo DISH cuesta de \$200 a \$300 Dlls cuando se vende junto con una suscripción prepagada, lo que ha bajado los precios de los otros proveedores. Esta promoción ha mostrado ser muy popular. DirecTV y USSB han acoplado sus precios mediante rebajas y otras promociones, como por ejemplo existe un equipo de DSS de \$200 Dlls disponible con una suscripción prepagada. Esto representa una caída drástica de los \$700 a \$900 que costaban inicialmente estos equipos hace más de dos años.

Otros sistemas de DBS y otros servicios disponibles en el futuro

El potencial de los servicios de difusión de datos es uno de los más esperados en los servicios de DBS. Como las señales son mandadas como paquetes digitales, el sistema puede mandar audio, video, y datos en cualquier combinación hacia los decodificadores. La mayoría de los decodificadores cuentan con un puerto de datos de alta velocidad a través de cual se pueden conectar a una computadora o a un decodificador externo. En los 24 MHz de ancho de banda de cada transpondedor se pueden enviar hasta 40 Mbps de información.

DirecTV planea dar servicio en línea y otros servicios interactivos tales como adquisición de boletos y compras desde el hogar.

DirecTV está trabajando con Microsoft para producir un sistema de PC en Windows 95, el cual pueda recibir programación de DirecTV en combinación con servicios de datos. Debe resaltarse que los servicios de datos están disponibles solamente a través del uso de un decodificador basado en una tarjeta de PC y los consumidores con decodificadores estándar no podrán recibir servicios de datos a través del puerto de datos.

MCI se ha aliado con la Corporación de Noticias de Rupert Murdoch y juntos han comprado los derechos para 28 transpondedores en la posición orbital de los 110°. Estas compañías pretenden concentrarse en el área de servicios especiales para negocios, tal como entrenamiento y servicios regionales para consumidores. Este servicio tendrá una gran importancia cuando arranque a finales del 97 o comienzos de 98.

El servicio DirecTV de Estados Unidos y otros competidores.

EchoStar también tiene planes de dar servicios desde las posiciones orbitales en los 61.5° O y 148° O. Con ambas se puede dar servicio completamente a la parte continental de los E.U. Lo anterior permitirá ofrecer programación complementaria al actual servicio de EchoStar, además de otros servicios para negocios.

TCI, una de las más importantes compañías proveedoras de televisión por cable, ha fallado en su intento de obtener una aprobación de usar las ranuras asignadas a Canadá y/o México para poseer su propio servicio de DBS de alta potencia. Actualmente poseen 11 transpondedores a la posición 119° O pero han querido adquirir más, ya que con este número de transpondedores únicamente pueden dar un servicio de 80 canales o menos. Existe la posibilidad de que lleguen a un arreglo con otro proveedor de DBS a los 119° O (EchoStar), pero otros acuerdos son posibles.

Situación actual de las posiciones orbitales asignadas por la FCC para difusión de DBS.

En la tabla 4.2 se listan las compañías poseedoras de licencias, para las 8 posiciones orbitales asignadas por la FCC, para la transmisión de DBS.

Tabla 4.2 Compañías poseedoras de licencia para DBS

	Total	61.5°	101°	110°	119°	148°	157°	166°	175°
EchoStar	90	11 _a		1	21 _b	24 _c		1	32
DirecTV	54		27 _d				27		
MCI/News Corp.	28			28 _e					
Continental	22	11						11	
Tempo	22				11 _f			11	
Dominion	16	8 _a						8	
USSB	16		5 _d	3		8			
No asignado	8	2					5	1	
Total	256	32	32	32	32	32	32	32	32

- a EchoStar 3 (Fecha de lanzamiento: 10/6/97) - 32 transpondedores (sin contar reservas)
- b EchoStar 1 y 2 (DISH Network) - 32 transpondedores (sin contar reservas), 21 en uso
- c EchoStar 4 (Fecha de lanzamiento: 3/98) - 32 transpondedores (sin contar reservas)
- d DBS 1, 2 y 3 (DirecTV y USSB) - 48 transpondedores (sin contar reservas), 32 en uso
- e Sky 1 (Fecha de lanzamiento: 9/30/97) - 16 transpondedores (sin incluir reservas)
Sky 2 (Fecha de lanzamiento: 3/3/98) - 16 transpondedores (sin incluir reservas)
- f Tempo 2 (TSAT) - 32 transpondedores (sin incluir reservas).

5

Antenas receptoras de televisión en banda Ku

5.1 Introducción

Las señales de SHF (12 GHz), que se reciben de un satélite de DBS, tienen una longitud de onda muy pequeña (aproximadamente 2.5 cm), y pueden ser recibidas por un plato parabólico.

Las antenas para la recepción de T.V. en banda Ku necesitan ser baratas, fáciles de instalar, ofrecer una alta ganancia a fin de tener una figura de mérito (G/T) alta en el receptor, y tener un desempeño estable a lo largo de su vida útil.

Existen tres tipos de antenas para la recepción de T.V. via satélite en la banda Ku: a) antena parabólica con alimentación central, b) antena parabólica tipo offset y c) antena plana. Estos tres tipos de antenas se muestran en la figura 5.1.

5.2 Parámetros generales de una antena parabólica

Los parámetros más importantes que se deben de tomar en cuenta para una antena de DBS son: ganancia, eficiencia, figura de mérito (G/T), directividad y VSWR.

Ganancia y eficiencia

La ganancia de una antena parabólica esta dada por la ecuación 5.1 :

$$G_r = \eta \cdot \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot A}{\lambda^2} \right) \quad (5.1)$$

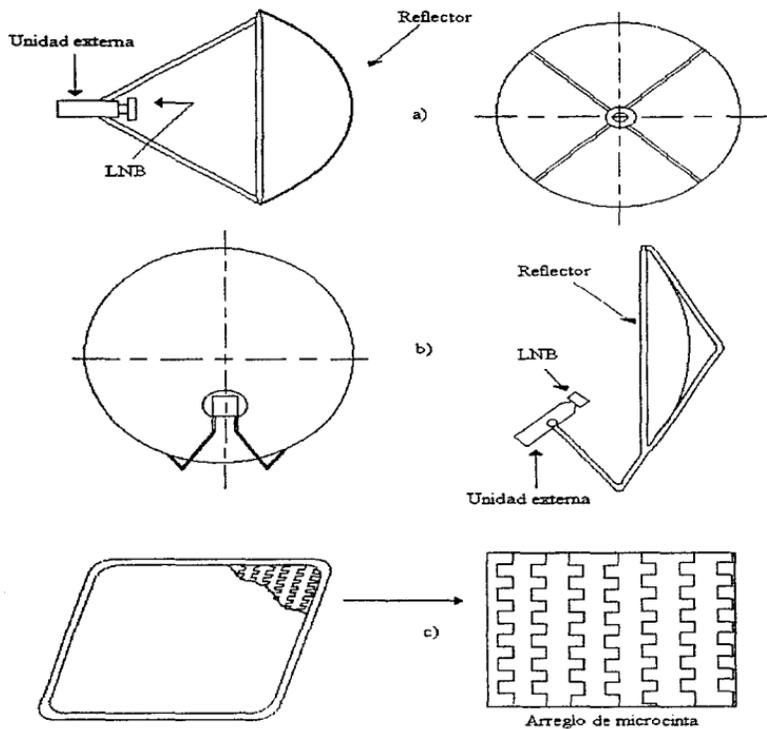


Fig 5.1 a) Antenas tipo parabólico con alimentación central b) antena tipo offset c) antena plana

donde η es la eficiencia, A es el área de apertura, y λ es la longitud de onda. La eficiencia η se calcula como el producto de seis eficiencias como se indica en la ecuación 5.2 continuación.

$$\eta = \eta_m \cdot \eta_g \cdot \eta_r \cdot \eta_b \cdot \eta_i \cdot \eta_s \quad (5.2)$$

donde :

η_m = eficiencia debido al material del reflector

η_g = eficiencia de polarización

η_r = eficiencia debida a la rugosidad en la superficie del reflector

η_b = eficiencia debida al bloqueo del LNB

η_i = distorsión de iluminación

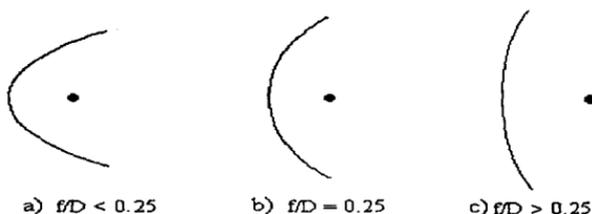
η_s = eficiencia debida al desborde en los alrededores del área del reflector

De la ecuación 5.1 se observa que entre mayor sea el área de apertura mayor será la ganancia. Si se deja constante el área de apertura, se deberá de incrementar cada una de las eficiencias a fin de incrementar la ganancia de la antena. El límite superior de eficiencia de una antena parabólica es aproximadamente 75%. En el caso de las antenas offset se pueden alcanzar eficiencias superiores de 70% en antenas comerciales.

Relación f/D

La relación f/D, donde D es el diámetro de la parábola y f es la distancia focal, expresa la curvatura de la parábola. De esta relación va a depender el rendimiento de la parábola en lo que a su comportamiento eléctrico se refiere.

La figura 5.2 muestra la posición del foco en relación al reflector para tres valores diferentes de f/D: a) f/D < 0.25, el alimentador se encuentra entre el reflector y el plano de apertura, por lo que un LNB común no recibe señales de los bordes, b) f/D = 0.25, el alimentador se encuentra en el plano de apertura, y c) f/D > 0.25, el alimentador se encuentra después del plano de apertura, esto permite una recepción uniforme de las señales, pero incrementan los lóbulos laterales y con esto el ruido térmico proveniente del suelo.

Fig 5.2 Posición del foco para tres valores de f/D .

Ancho del haz

De la ecuación 5.3 se observa que entre mayor sea el diámetro del reflector menor será el ancho del haz de la antena. Esta ecuación se utiliza para calcular el ancho del haz de media potencia.

$$\theta_{-3dB} = \frac{70 \cdot D}{\lambda} \quad (5.3)$$

donde D es el diámetro de la parábola y λ es la longitud de onda de trabajo. El ángulo de media potencia se da en grados.

La tabla 5.1 muestra la ganancia y el ángulo de media potencia de tres diferentes antenas trabajando en la banda Ku (12 GHz).

Tabla 5.1 Ganancia y ángulo de media potencia para antenas en la banda Ku.

Diámetro (cm.)	60	90	120
Eficiencia	70%	70%	70%
Ganancia	36 dB	39.5 dB	42 dB
θ_{-3dB}	2.91°	1.94°	1.4583°

Temperatura de la antena

La antena esta expuesta a ruido proveniente del cielo, de la tierra y de la lluvia. La contribución de la Tierra a la temperatura de ruido de la antena depende del tipo de antena, del ángulo de elevación, de los lóbulos laterales del patrón de radiación (los cuales son más grandes entre más pequeñas sean las dimensiones eléctricas de la antena), y de la frecuencia de operación. La temperatura de ruido provocada por la tierra depende de las características del terreno y un valor común es de 100°K para antenas pequeñas.

La contribución del cielo a la temperatura de ruido de la antena depende de la frecuencia de trabajo y de la elevación de la antena, a más altas frecuencias mas atenuación. Para conocer la temperatura de ruido provocada por el cielo existen tablas en función de la frecuencia y el ángulo de elevación de la antena que nos dan el dato. Para frecuencias del orden de 12 GHz la temperatura del cielo varia entre 3.5°K para 90° de elevación y 150°K para 0° de elevación.

La contribución de la lluvia a la temperatura de ruido de la antena depende de la atenuación por lluvia que se calcule y de la temperatura media efectiva de la lluvia. La ecuación 5.4 muestra una forma de estimar el valor de la temperatura de lluvia.

$$T_{lluvia} \cong 1.12 \cdot T_{ambiente} (^{\circ}K) - 50 \quad (5.4)$$

donde la temperatura ambiente es la temperatura de donde se encuentra la antena receptora.

Las fórmulas que nos relacionan las tres temperaturas anteriores son la 5.5, para el caso sin lluvia, y la 5.6, para el caso con lluvia.

$$T_A = T_{cielo} + T_{Tierra} \quad (5.5)$$

$$T_A = \frac{T_{cielo}}{L_{lluvia}} + T_{lluvia} \cdot \left(1 - \frac{1}{L_{lluvia}}\right) + T_{Tierra} \quad (5.6)$$

donde:

T_A es la temperatura de la antena

T_{cielo} es la temperatura del cielo

T_{lluvia} es la temperatura de la lluvia

L_{lluvia} es la atenuación por lluvia

Figura de mérito (G/T)

La figura de mérito se define como el cociente de la ganancia de la antena G entre la temperatura total del sistema. La figura de mérito puede expresarse en términos del error de apuntamiento y las pérdidas por acoplamiento de acuerdo a la ecuación 5.7

$$G/T = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot G_r}{\alpha \cdot T_a + (1 - \alpha) \cdot T_o + (n - 1) \cdot T_o} \quad (5.7)$$

donde

α = pérdidas totales por acoplamiento.

β = pérdidas totales error de apuntamiento, depolarización, y desgastes.

G_r = la ganancia efectiva de la antena receptora.

T_a = temperatura efectiva de la antena.

T_o = temperatura de referencia (290°K).

n = figura de ruido total del receptor.

La ganancia G_r , depende, como ya se vio, de la eficiencia de la antena y del método de alimentación.

La WARC definió un valor de 6 dB/K para recepción individual. Actualmente una antena con un diámetro relativamente pequeño es capaz de alcanzar dicho valor para la figura de mérito, debido a su alta eficiencia y baja figura de ruido. Una antena con un diámetro de entre 60 y 70 cm puede tener figuras de mérito mayores de 10 y 12 dB/K.

Directividad

La directividad de una antena se expresa mediante los patrones copolares (misma polarización que la de la antena) y de polarización cruzada (componente contraria a la polarización de la antena). Para evitar interferencia entre países se establecen niveles máximos de directividad copolar y de polarización cruzada.

5.3 Tipos de antenas parabólicas

Las antenas receptoras no solamente tienen que tener un alto desempeño, sino que también tienen que ofrecer una alta confiabilidad (resistencia al viento), un diseño que permita la producción en masa y fácil instalación.

Antena con alimentación central

Las antenas de reflector parabólico son ampliamente usadas en comunicaciones satelitales. La forma de un reflector de este tipo se obtiene mediante el corte de una parábola de revolución y su ecuación es la 5.8:

$$(5.8) \quad r = \frac{2f}{1 + \cos \theta} = f \sec^2 \frac{\theta}{2}$$

donde las distancias r , f y el ángulo θ se describen en la figura 5.3

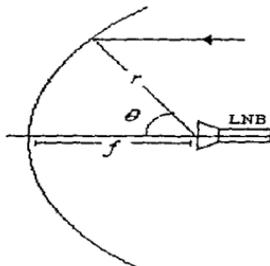


Figura 5.3 Reflector parabólico con el LNB en el centro.

El LNB se encuentra a una distancia de f del vértice de la parábola. La superficie parabólica tiene la propiedad de concentrar todos los rayos que llegan del cielo y concentrarlos en el LNB.

Antena Offset

El reflector parabólico simétrico, con el LNB en el foco, presenta niveles de radiación de polarización cruzada y lóbulos laterales mayores a los previstos en teoría, el incremento de dichos niveles de radiación es provocado por la dispersión que sufre la señal en el LNB y en las varillas que sujetan al mismo.

Una manera de evitar dicha dispersión es el uso de una sección de parábola como la que se indica en la figura 5.4.

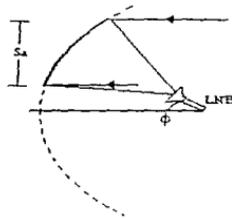


Fig 5.4 Sección de un reflector parabólico, con el LNB en offset.

Como se observa en la figura 5.4 sólo se utiliza una sección del reflector parabólico de manera que el foco de la parábola quede fuera del haz principal del reflector. Esta geometría reduce considerablemente la dispersión causada por el LNB y su estructura de soporte.

Uno de los problemas que surgen al sacar al LNB de la zona del haz principal, es que el reflector en offset y el sistema de recepción no se encuentran en simetría circular, como consecuencia la señal que recibe el LNB sufrirá una mínima depolarización, debida al reflector, con respecto a la señal que llega del satélite.

A la superficie de apertura en el plano focal se le llama Superficie de Apertura "Sa" (ver Figura 5.4). En el foco de la parábola se coloca el LNB, el cual tendrá un ángulo de inclinación ϕ relativo al eje focal del reflector, como se aprecia en la figura 5.4.

El campo eléctrico en el plano focal de apertura puede ser calculado usando geometría óptica. El patrón de radiación puede ser calculado a partir del campo eléctrico en el plano focal de apertura. El campo en el plano focal tiene fase constante, si asumimos que el LNB recibe un campo con un frente de fase esférico. En la práctica no se logra un frente con fase esférico perfecto pero la desviación es pequeña, por lo que se puede considerar un plano de fase constante en la área de apertura de la antena.

La figura 5.5 muestra los elementos que componen una antena tipo offset:

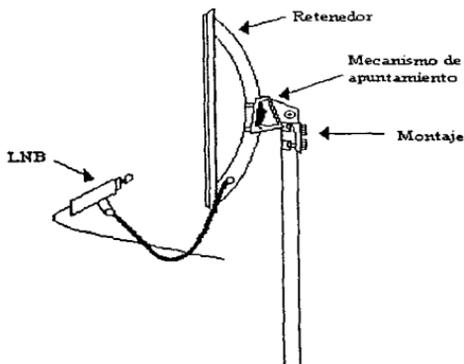


Fig 5.5 Componentes de una antena parabólica tipo offset

El LNB se localiza en el foco de la parábola. Una señal con polarización circular derecha, proveniente del satélite, llega al reflector y cambia a polarización circular izquierda, las señales llegan al LNB el cual entre otras funciones, cambia de polarización circular a polarización lineal.

Una de las características de los sistemas de DBS en la banda Ku es el alto nivel de potencia que transmiten los satélites, esto permite superar los altos niveles de atenuación atmosférica a esas frecuencias, además de permitir que diámetros de entre 60 y 90 cm para las antenas receptoras. El diámetro de la antena depende de la localización de la antena dentro de la huella del servicio del satélite. La figura 5.6 muestra una antena offset usada en los servicios de DBS actuales. Una antena de RCA de 45.7cm x 50.8cm (18" x 20") tiene una ganancia de 34 dB a 12.5 GHz y un ancho de haz de media potencia de 3.5 grados.

Comparada con la antena de alimentación central, la antena tipo offset tiene las siguientes ventajas:

- disminuye considerablemente el efecto de dispersión debido al LNB y su estructura de soporte
- se pueden disminuir las pérdidas por inserción conectando la unidad externa directamente a la fuente primaria de alimentación (LNB).
- la presión que ejerce el aire sobre la superficie de la antena es menor, ya que la antena offset tiene una superficie menos curva, además esto reduce la adhesión de la nieve a la superficie de la antena.
- es fácil cubrir la unidad externa a fin de prevenir incrementos de temperatura
- su diseño permite producción en masa mediante métodos de prensado y técnicas de moldeado de plástico.

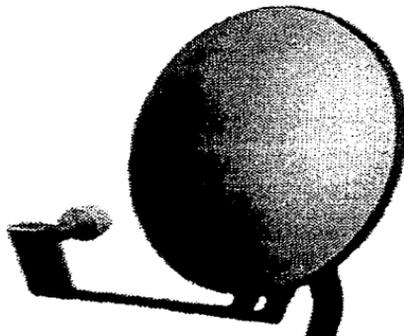


Fig 5.6 Antena offset usada actualmente en los servicios de DBS.

Orientación de las antenas parabólicas

Para que la antena pueda recibir las señales de T.V. provenientes del satélite se necesita alinear la antena receptora hacia al satélite. Lo anterior se logra fijando dos variables: la elevación y el azimut de la parábola.

La elevación (α) se define como el ángulo de inclinación que tiene la antena respecto al plano vertical del suelo, el valor de la elevación toma valores entre 0° y 90° , la figura 5.7 ilustra lo anterior.

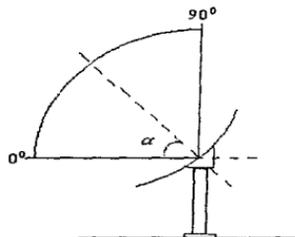


Fig 5.7 Medida de la elevación de una parábola.

El azimut indica la desviación de la parábola sobre el plano horizontal respecto al Norte, este ángulo toma valores entre 90° y 270° , se mide desde de los cero grados que es la dirección del norte geográfico de la tierra. Para medir el norte geográfico se puede utilizar una brújula y tablas que indiquen la desviación entre el norte geográfico y el norte magnético. La figura 5.8 ilustra el azimut de una antena, mostrando a esta última desde una vista superior.

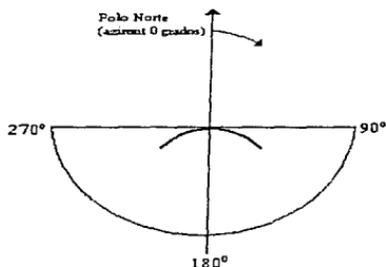


Fig 5.8 Medición del azimut de una antena.

Una de las características de los sistemas de DBS, es que la antena sólo se tiene que orientar una vez, ya que siempre va a recibir señales de la misma región, esto elimina los costosos sistemas de auto-posicionamiento. Debido a que las antenas usadas para recepción tienen un ancho de haz grande, es posible recibir señales de más de un satélite, en el caso de que estos se encuentren lo suficientemente juntos, como es el caso de los satélites de DirecTV y EchoStar en Estados Unidos. La figura 5.9 muestra la orientación que tiene una antena situada en medio de Estados Unidos (Latitud 36.4°N , Longitud 106.0°O), en relación a los cuatro servicios de DTH.

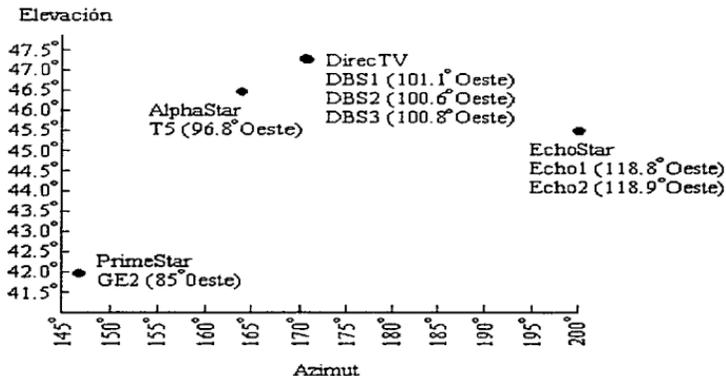


Fig 5.9 Elevación y azimut de una antena localizada en Lat 36.4°N , Long 106°O , para todos los servicios de DTH en Estados Unidos.

Para conocer la orientación que se le tiene que dar a la antena existen fórmulas que relacionan la localización geográfica de la antena (altitud y latitud) con la ubicación del satélite, estas fórmulas dan los ángulos de elevación y azimut necesarios. Existen otros métodos como son tablas universales para el cálculo de orientaciones, en Estados Unidos DirecTV y EchoStar cuentan con bases de datos vía internet donde el usuario consulta la orientación necesaria de su antena, en función de su código postal.

Clasificación de antenas parabólicas en función de su uso

Las antenas de recepción se clasifican de acuerdo a su uso en tres: para recepción individual (DTH), para recepción comunitaria y para recibir con calidad difusión (programación que será retransmitida). La figura 5.10 compara los tamaños de estos tres tipos de antenas tanto en banda C como en la banda Ku.

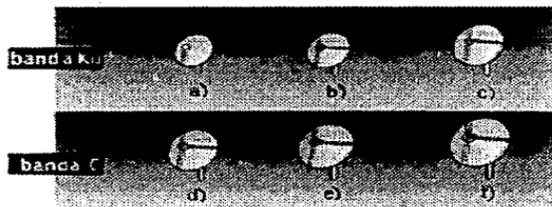


Fig 5.10 Comparación entre los tamaños de los diferentes tipos de antenas parabólicas.

- a) Antena offset para DTH 60-90cm b) antena comunitaria o para alimentar un sistema de cable 1.8m c) antena para recibir con calidad de difusión 2.4m d) antena de DTH 2.4m e) antena comunitaria o para alimentar un sistema de cable 3.0-3.7m f) antena para recibir con calidad de difusión 4.5m

Fabricación de antenas parabólicas:

Las parábolas suelen fabricarse de aluminio, chapa de acero o materiales plásticos.

El reflector de la antena offset se fabrica de metal, o de plásticos reforzados con materiales conductores como fibra de carbón, aluminio evaporado, o una malla de alambre interna.

El rendimiento de las parábolas fabricadas con materiales plásticos para la banda Ku depende del tipo de plástico que recubre el disco de la parábola.

Los métodos más comunes de fabricación de parábolas son: a) prensado, b) repulsado y c) expansivo

a) **Prensado:** En este sistema se fabrica el disco en una prensa. Este método es el más utilizado, aunque se pueden provocar deformaciones y desviaciones después del proceso de prensado. Para la fabricación de antenas offset de menos de 1 metro se utiliza este método.

b) **Repulsado:** Este método sirve para fabricar parábolas de cualquier diámetro, obteniéndose curvas de muy alta precisión. En este método se emplea el torno. En la misma fase de torneado se da el acabado al plato, esto simplifica el proceso de fabricación.

c) **Expansivo:** En este proceso se utiliza un sistema de molde-contramolde, en el que una vez colocada la chapa, se rellena el hueco con un fluido ligero que se proyecta hasta el interior mediante la presión de un explosivo.

5.4 Antenas planas

Otra alternativa para recibir las señales de los satélites de DTH son las antenas planas. Estas antenas funcionan como un conjunto muy grande de antenas dipolo que suman su potencia en un punto de recolección. La ganancia y calidad de recepción que se obtiene con las antenas planas son similares a las que se logran con las antenas offset actualmente en uso. En Europa y Japón ya se están usando este tipo de antenas para la recepción de televisión directa por satélite. Las ventajas de este tipo de antenas son: bajo costo, fácil instalación, fabricación sencilla, y mayor resistencia al viento y climas extremos.

Existen dos tipos de antenas planas: de guía de onda ranurada y de microcinta. Las antenas planas de guía de onda ranurada consisten en tres capas que no hacen contacto entre sí: una placa metálica continua llamada "plano de tierra", una placa de plástico con líneas metalizadas que transmiten o guían la potencia de las señales y otra placa de plástico ranurado con muchas ranuras rectangulares (aproximadamente 250) que detectan las señales provenientes del satélite. Todo este arreglo está protegido por una última placa de plástico, que además le da a la antena un aspecto muy atractivo, y de acuerdo con su color se puede incluso "camuflar" con la construcción, para que se confunda con la pared o el techo y sea prácticamente invisible. En la figura 5.11 se aprecian las capas que conforman a este tipo de antenas planas.

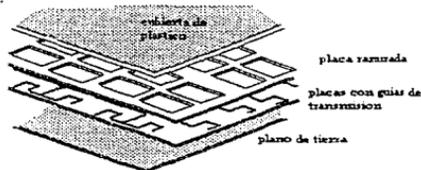


Fig 5.11 Componentes básicos de una antena plana de guía de onda ranurada.

El segundo tipo de antenas planas se basa en la tecnología de microcinta. La antena de la figura 5.12 esta construida a partir de una serie de capas de materiales de gran resistencia mecánica y poca densidad.

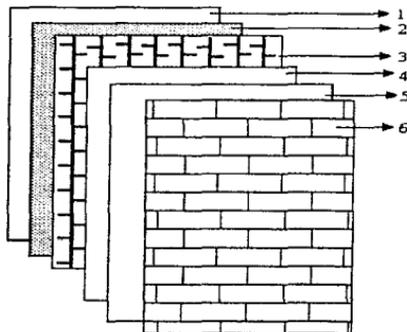


Fig. 5.12 Construcción laminar de una antena plana con tecnología de microcinta. 1. Plano de tierra metálico, 2. sustrato plástico 3. elementos de la antena, 4. sustrato de plástico 5. rejilla polarizadora 6. cubierta plástica.

El sustrato plástico es una capa delgada de alta calidad, su $\epsilon_r = 1.06$. Los elementos radiadores están hechos de cobre y se graban en una capa muy delgada de plástico cubierta de cobre. Esta capa se adhiere a la primera capa plástica. En la figura 5.12 se describen elementos lineales, debido a que estos elementos funcionan con polarización lineal es necesario cambiar la polarización circular que llega del satélite a polarización lineal. Esto se logra mediante la capa polarizadora. Al final todas las capas se encierran en una delgada caja de plástico.

Para lograr el ancho de banda necesario y tener pocas pérdidas se necesita utilizar materiales de muy alta calidad. Existen antenas planas que pueden orientar su haz electrónicamente en uno ó dos planos ortogonales. Las antenas sin capacidad de direccionamiento electrónico son mas pequeñas que un plato parabólico, las antenas con capacidad de direccionamiento en uno o dos planos permiten la instalación vertical de la antena, selección entre varios satélites, e instalación en paredes y techos. Las antenas orientables se clasifican a su vez en pasivas y activas.

La tabla 5.2 muestra una comparación entre dos antenas tipo offset y una antena plana con microcinta de 640mm x 460 mm.

Tabla 5.2 Comparación entre antenas offset y una antena plana.

	Plato de 0.9m	Plato de 0.6m	Antena plana
Área de apertura (dB m ²)	-4.56	-8.07	-4.50
Ganancia (dB)	38.0	35.5	32.3
C/N total (dB) con:			
8dB de FR*	14.0	10.5	9.0
5 dB de FR*	17.5	14.0	12.2
2.5 dB de FR*	20.7	17.2	14.9

*Figura de ruido del receptor

En estos valores se asumió que:

a) Pérdida por lluvia 1.4 dB. b) ruido galáctico 0.3 dB, c) potencia transmitida 160W.

Un ejemplo de este tipo de antena plana es la fabricada por la empresa alemana FUBA. Esta antena utiliza tecnología de guías de onda ranuradas, y se usa para captar señales de televisión y sonido vía satélite. Este tipo de antena tiene la facilidad de colocarse en un poste, en la pared o en el techo. La figura 5.13 muestra este tipo de antena.

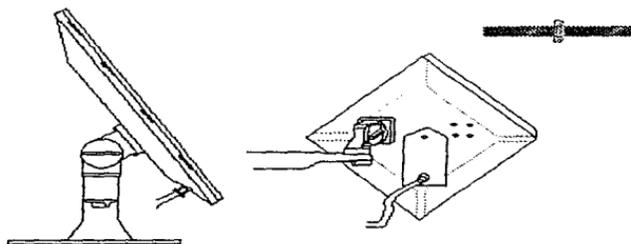


Fig 5.13 Antena plana con LNB para recepción de señales de TV y radio vía satélite.

La tabla 5.3 muestra las características de la antena DPC 32.

Tabla 5.3 Características de la antena plana DPC 32 de FUBA

Ancho de banda	11.7 - 12.5 GHz
Ganancia	30 dBi
Polarización	circular izquierda
Dimensiones	320x320x60 mm
Angulo de elevación	0° - 40°
Angulo de azimut	0° - 360°

Esta antena cuenta con el LNB integrado cuyas características se muestran en la tabla 5.4

Tabla 5.4 Características del LNB de la antena plana DPC 32

Banda de frecuencia	950-1750 MHz
Figura de ruido	1.4 - 1.6 dB
Ganancia del amplificador	50 dB (25°C, 15 V)
Frecuencia del oscilador local	10.75 MHz
Impedancia de salida de FI	75 Ohms
Alimentación	12 - 18 V 140 mA

Se espera que tal vez en un futuro las compañías proveedoras de televisión directa al hogar en América comercialicen este tipo de antenas como una opción más barata a las actuales antenas offset. Actualmente las antenas planas son ampliamente usadas para comunicaciones móviles debido a su portabilidad y capacidad de direccionamiento.

Sistemas de DTH en México y América Latina

Para las empresas interesadas en ofrecer servicios de DTH en México, el Gobierno Mexicano otorgó cuatro concesiones, siendo éstas para las empresas: Televisa, Multivisión, Telered y Grupo ACIR. Pero de éstas sólo quedan dos rivales efectivas, ya que Televisa y Medcom se fusionaron y por otro lado el proyecto del Grupo ACIR quedó congelado.

El Gobierno Mexicano firmó un acuerdo protocolario de televisión satelital con el Gobierno de los E.U. Este acuerdo permite bajar señales de satélites estadounidenses en territorio mexicano y viceversa. Así, DirecTV obtuvo el permiso para recibir señales del satélite estadounidense Galaxy III-R, lo que le permitió poner en marcha su proyecto. DirecTV comenzó sus pruebas y comercialización desde noviembre de 1996, mientras que el sistema SKY comenzó su comercialización en octubre y sus transmisiones en noviembre del 96. Este último sistema utiliza 12 transpondedores del satélite Solidaridad II para ofrecer 108 canales de televisión y 48 de audio.

DiracTV de Multivisión es posible gracias a la alianza de la firma mexicana con Hughes de E.U., TV Abril de Brasil y Grupo Cisneros de Venezuela. Por otro lado, Sky es posible por la alianza de Televisa con News Corporation, TCI² y Organización Globo.

6.1 El servicio Sky

A finales de 1995, Grupo Televisa anunció una alianza estratégica con The News Corporation Limited, Organizaciones Globo, y Tele-Communications International, Inc. para desarrollar y operar un servicio de televisión directa al hogar vía satélite en la región de América Latina y la cuenca del Caribe, así como para auditorios de habla hispana en los Estados Unidos de Norteamérica y el sur de Canadá. En diciembre de 1996, esta asociación inició las operaciones de DTH en la República Mexicana. Este servicio, denominado Sky Entertainment Services, contempla transmitir más de 150 canales de programación. Actualmente el servicio Sky en Latinoamérica se divide en dos servicios independientes: un servicio para los países de habla hispana y otro para Brasil.

6.1.1 El servicio Sky Brasil

Este servicio espera alcanzar los 2 millones de suscriptores durante los primeros cinco años. Inicialmente, la señal empezó a ser distribuida empleando cuatro transpondedores del PAS-3. A largo plazo, el satélite PAS-6 localizado en la posición 43° Oeste, que ya fue lanzado pero que aún está en la etapa de pruebas, dedicará 12 transpondedores a los suscriptores brasileños. La huella de este satélite se muestra en la Fig. 6.1. Sky hizo una adquisición inicial de 100,000 cajas decodificadoras receptoras integradas (IRD) construidas por Pace Micro Technology plc, una importante empresa de la industria electrónica con base en el Reino Unido (fabrica uno de cada tres decodificadores vendidos en Europa). Para las antenas receptoras de la señal digital DTH, NET se ha asociado con Gradiente, empresa brasileña fabricante de equipos electrónicos, para la fabricación y distribución de las mismas.

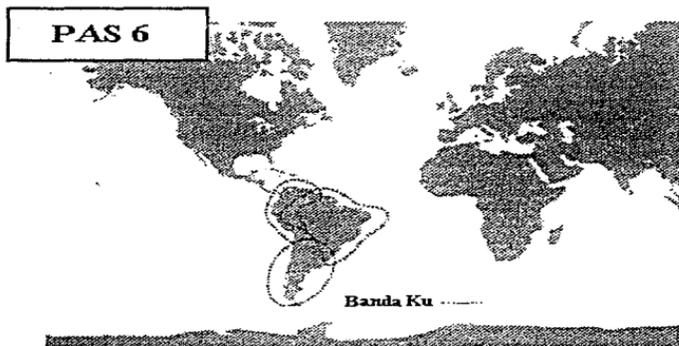


Fig. 6.1 Huella del satélite PAS 6 en la banda Ku

6.1.2 Sky habla hispana

Inicialmente se planeó transmitir este servicio desde el satélite PAS-3 con polarización circular, pero la pérdida de este satélite obligó a que la señal se distribuyera desde el satélite Solidaridad 2 con polarización lineal, por lo que hubo que hacer unas modificaciones en los receptores que ya habían sido construidos con las características requeridas inicialmente.

El satélite Solidaridad 2 se encuentra en la posición 113° Oeste. Este aparato cuenta con 16 transpondedores de 54 MHz c/u, y transmite polarización vertical y horizontal. El PIRE nominal máximo es de 47 dBW, el satélite cuenta con 20 amplificadores TWTA de 45 Watts. Las bandas de frecuencia de subida son 14-14.5 GHz y de bajada 11.7-12.2 GHz. Este satélite sólo ofrece cobertura en la banda Ku a la región 4 (México, Sur de los E.U., Guatemala y Belice) y la región 5 (Toronto, Canadá, la Habana y las ciudades más importantes de los E.U.). La figura 6.2 muestra el plan de frecuencias del satélite Solidaridad 2 en la banda Ku.



Fig 6.2 Plan de frecuencias del satélite Solidaridad 2 para banda Ku

Los enlaces en México se realizan desde las instalaciones de Televisa en Chapultepec y Río de la Loza, y su centro de operaciones está en Insurgentes Sur. El telepuerto en Homestead, propiedad de Panamsat, es el encargado de monitorear y subir las señales para los servicios de Sky Entertainment de México y Brasil.

El satélite PAS-5 (modelo Hughes HS 601 HP) localizado en la posición orbital 58° Oeste fue lanzado a finales de agosto de 1997. Este satélite transmite con polarización lineal, también cuenta con 24 transpondedores de 36 MHz c/u en la banda Ku, 12 para México, 6 para E.U. y 6 haces direccionables. Las frecuencias de subida son: 12.750 - 13.250, 14.000-14.250 GHz y sus correspondientes de bajada son: 10.70 - 10.95, 11.20 - 11.70 GHz.

En un futuro Sky se trasladará al satélite PAS-5, cuya huella se muestra en la Fig. 6.3, por esta razón será necesario que los suscriptores reorienten sus antenas y evidentemente también lo harán las estaciones de transmisión.

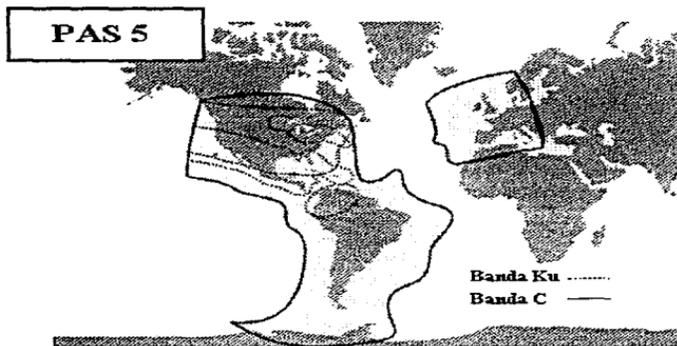


Fig 6.3 Cobertura del satélite PAS-5 que será utilizado por Sky

Este sistema afirma que en abril de 1997 contaba con 8,000 suscriptores y a finales de junio tenían ya 50,000. En el apéndice 4.2 se realizan los cálculos de un enlace para ofrecer el sistema de DTH utilizando el satélite Solidaridad 2.

6.2 El servicio de DirecTV

La sociedad Galaxy Latin America (GLA) se formó en el primer cuarto de 1995. Este mismo año se contrató a la empresa Thomson Electronics para la manufactura del decodificador digital bajo las marcas RCA-GE. A finales de 1995 se lanzó el satélite de Hughes GIII-R (HS 601), y a principios de 1996 se lanzó el servicio DirecTV.

El sistema DirecTV Latin America ya funcionaba en Venezuela y Brasil antes de entrar en México. Posteriormente entró en México, Argentina, Chile, Colombia y Centro América.

Este sistema brinda servicio con 24 transpondedores en la banda Ku, 16 de 27 MHz y 8 de 54 MHz con 63 Watts de salida, desde el satélite Galaxy III-R (95° Oeste); 12 de estos transpondedores están designados a la huella latina, que comprende Latinoamérica de habla hispana y se transmite programación en español e inglés. Los 12 transpondedores restantes son para la huella de Brasil, que lleva programación en inglés y portugués. La

huella se muestra en la Fig.6.4. La señal se sube al satélite a 14 GHz (14-14.5 GHz) con polarización cruzada (vertical/horizontal) y se transmite a tierra 11 GHz (11.450-11.750 GHz) con polarización circular.

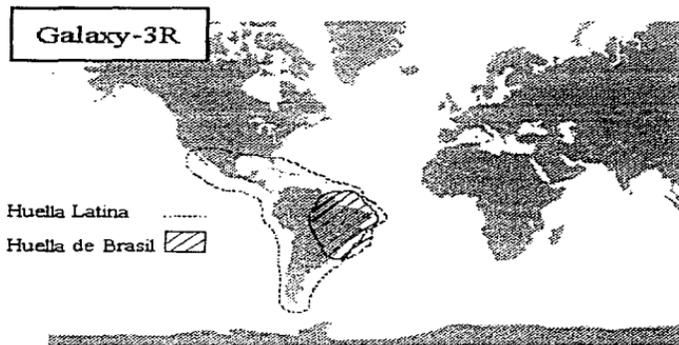


Fig 6.4 Huella del satélite G-3R para el servicio DirecTV para América Latina

Se tiene proyectado que para el 98 entre en funcionamiento el satélite Galaxy VIII-I. Este satélite será de alta potencia (115 W de salida) a diferencia del Galaxy III-R que es de media potencia (63 W de salida) lo que permitirá aumentar el número de canales hasta 238. El Galaxy VIII-I se localizará en la órbita de 95° Oeste y tiene como objetivo cubrir América Latina y el Caribe. El satélite Galaxy III-R quedará como respaldo.

AT&T y Multivisión se han aliado para comercializar el servicio DirecTV en México, así como AT&T lo ha hecho en E.U. La empresa de telefonía organizó una campaña de promoción entre sus clientes para que se suscriban. A cambio, ofrece tiempo de larga distancia.

6.2.1 Centros de transmisión satelital

DiracTV Latin America (antes Galaxy Latin America) con sede corporativa en Ft.Lauderdale, Florida, centraliza las operaciones de transmisión de su servicio a través de una sede localizada en Long Beach, California. Este centro de operaciones está a cargo de la transmisión vía satélite de la programación paga del servicio, así como la autorización de la conexión del sistema del suscriptor. Se emplean dos antenas de recepción/transmisión de

13m, cuatro antenas de recepción de televisión en las bandas C/Ku de 5.5 metros. Además cuenta con Centros Regionales de Transmisión ubicados en diferentes puntos geográficos del continente que operarán la emisión de señales en coordinación con el Centro de Operaciones de Transmisión de Long Beach. Estos están ubicados en la ciudad de México, Caracas, São Paulo y Buenos Aires (el último actualmente en construcción).

El Centro de Transmisiones en California sube información al satélite dirigida a algún Centro Regional de Transmisiones o a los consumidores. Los Centros Regionales pueden subir señales para que éstas sean recibidas por el Centro de Operaciones en California o por los usuarios. En México, el usuario sólo puede interactuar vía telefónica, conectándose al Centro de Atención a Clientes; en este lugar se controla la parte de facturación, contratación o supresión de canales, quejas, o cuando los créditos de la tarjeta inteligente se han agotado. En este último caso el IRD marca automáticamente a un número 01-800 para que se carguen los créditos usados a la cuenta del suscriptor y en caso de que se puedan recargar los créditos se recargan. En nuestro país existen tres centros de atención al cliente, uno en Monterrey para atención de la zona norte del país, uno en el D.F. para la zona centro y sur, y uno en Guadalajara para la zona occidental. En la Fig 6.5 se muestra un diagrama de flujo de comunicación entre los Centros de Transmisiones y los usuarios para el servicio DirecTV en México.

Las instalaciones del enlace de subida en México están localizadas muy cerca del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, dentro de las instalaciones de MVS. En el patio de antenas hay una antena Cassegrain de 13 m tanto para subida como para bajada y 5 antenas exclusivamente para recepción. Estas instalaciones tienen redundancia 1:1, excepto la antena transmisora que no tiene redundancia.

Redes TCN y ISBN de DirecTV

Los Centros de Atención a Clientes de Guadalajara y Monterrey están enlazados mediante fibra óptica con el Centro de Atención del D.F. A esta red, a nivel nacional, se le conoce como ISBN (Integrated Services Business Network). Esta red a su vez está conectada con la TCN (Telecommunications Network), la cual es una red LAN, a nivel local. La función de esta red es conectar los servidores que contienen información sobre los usuarios y servicios. Esta información se introduce en el flujo de bits, que tiene como destino el telepuerto de Long Beach, para que en este lugar se realicen los registros y cambios necesarios, y después sean subidos al satélite para su difusión a los usuarios.

A nivel regional un Centro de Transmisión del servicio DirecTV Latinoamérica cuenta con los siguientes elementos básicos: Un Master, una etapa de procesamiento digital, una TCN, una ISBN, un BOC, un subsistema de RF y una antena, como se muestra en la Fig. 6.6.

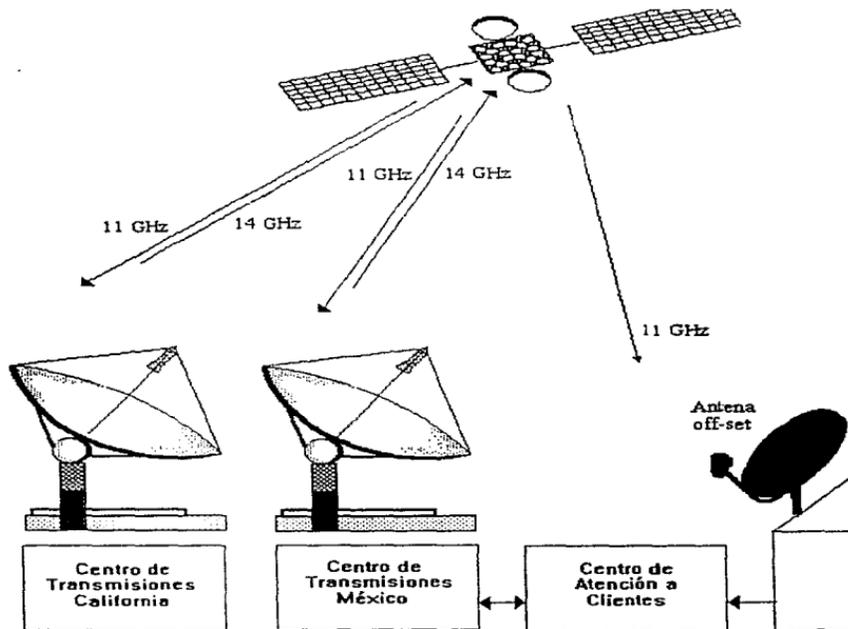


Fig 6.5 Flujo de comunicación de DirecTV México

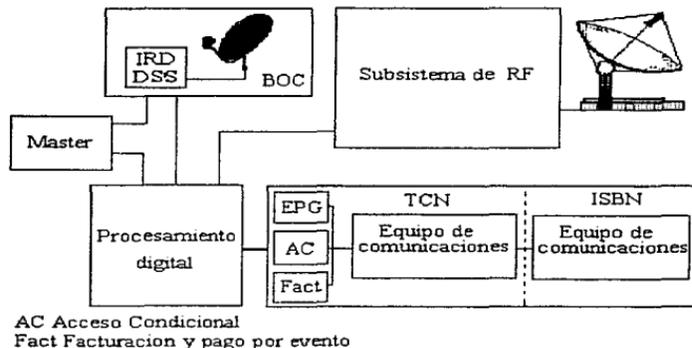


Fig 6.6 Diagrama de un Centro Regional de Transmisión para el servicio DirecTV Latinoamérica

MASTER

En esta etapa se prepara la contribución de México (MVS) al sistema. DirecTV. México tiene asignados cuatro transpondedores. La programación puede provenir de producciones locales, vía satélite o de cintas digitales. Para este fin, MVS prepara la programación y la entrega a DirecTV. DirecTV México (así como los demás Centros Regionales) manda el itinerario de la programación a Long Beach y ahí se arma la EPG, en donde se muestra la programación hasta con 72 hrs de anticipación. Una de las ventajas del EPG es que se pueden hacer cambios de último momento.

BOC (Broadcast Operation Center)

El Master está conectado con el BOC, en donde se monitorea y compara la calidad de la señal justo cuando sale del Master y a su regreso (existe un retraso de aproximadamente 2 seg. desde que la señal sale del Master y regresa a la estación terrena, incluyendo procesos digitales como protección contra errores, encriptación y otros como subida y bajada del satélite).

Obviamente, cada Centro Regional monitorea sólo los canales que aporta, ya que son los únicos de los cuales se tiene una imagen fiel. Aquí se cuenta con analizadores vectoriales que sirven para medir las componentes de colores de una imagen de referencia y compararlas. Además hay una pared con varias pantallas de televisión y enfrente un panel de control desde donde una persona ve parte de los canales. Estos se cambian automáticamente o se pueden cambiar de manera manual. En la Fig. 6.7 se muestra la pared de pantallas en las instalaciones de Long Beach, California.



Fig 6.7 Centro de Transmisión Satelital de Long Beach, California

Procesamiento digital

En esta parte es en donde se arma la cadena de bits. Para esto se toma la señal que sale del MASTER y se digitaliza tanto el audio como el video, se le aplica a la imagen la DCT (Discret Cosine Transform) para la compresión, y al audio la FFT. Posteriormente se le colocan encabezados a los paquetes y se aplican códigos de corrección contra errores, y después se encriptan. En seguida la información es multiplexada en tiempo.

Para realizar lo anterior DirecTV cuenta con equipos MAGNITUDE de NextLevel Systems, Inc. Estos equipos se encargan de transformar las fuentes de video, audio y datos en una cadena de bits que contiene información de los programas de televisión y los datos necesarios para el funcionamiento del sistema, debidamente encriptados y con sus códigos de corrección de errores. Este proceso se explica más a fondo en las secciones 3.5. El sistema es capaz de detectar automáticamente el material con formato película y extraer la información redundante. También utiliza multiplexación estadística, y es de arquitectura modular lo que lo hace mas flexible.

Además ofrece la opción de remultiplexaje, en la cual se puede introducir una cadena con formato MPEG-2, sin necesidad de convertirla de regreso al formato de origen y posteriormente tenerla que volver a introducir junto con los demás programas que no están en formato MPEG-2. Puede incorporar diferentes sistemas de acceso condicionado y de encriptación, estos últimos pueden manejar llaves fijas o variables. El sistema cuenta con una computadora y con una interface gráfica en donde el encargado del sistema puede fácilmente hacer asignaciones de los parámetros de codificación. La Fig 6.8 muestra un esquema general del funcionamiento del equipo MAGNITUDE.

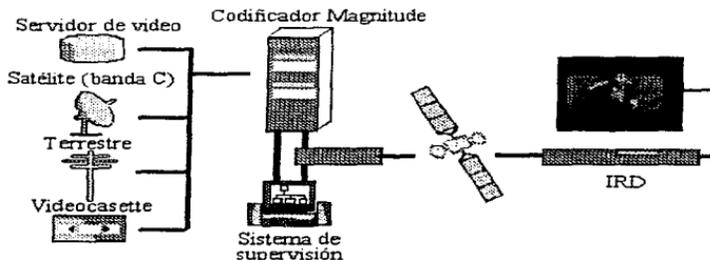


Fig. 6.8 Esquema básico del funcionamiento del equipo MAGNITUDE

Este equipo soporta formatos NTSC y PAL, puede trabajar en los modos SCPC y MCPC, maneja velocidades de datos de hasta 55 Mbps y tiene integradas funciones de prueba.

Etapa de FI

Una vez obtenida la cadena de bits, esta señal es modulada en QPSK y pasada por un ecualizador para posteriormente entrar en la etapa de potencia.

Etapa de RF

La señal es amplificada en un amplificador de estado sólido, y llevada al CPS (Control de Potencia de Subida). La etapa siguiente es un KPA (Klystron Power Amplifier), el cual amplifica la señal de cada transpondedor. Este tipo de amplificador es mas económico y menos complejo que un TWTA, además de ser mas robusto. Tiene un mayor rendimiento en señales SCPC y su ancho de banda va de los 50 a 100 MHz, lo necesario para un transpondedor de DTH. La salida del KPA es inyectada a las guías de onda en donde se multiplexan en frecuencia las señales de los cuatro transpondedores y por último éstas son alimentadas a la antena Cassegrain.

Estación de transmisión

En general una estación de transmisión terrena consta de una etapa de codificación de las fuentes (video, audio y datos) y multiplexaje, una etapa de FI y por último una de RF. Esta configuración se muestra en la Fig 6.9.

Monitoreo de un sistema de DTH

La parte del monitoreo es la encargada de determinar las condiciones de operación de la estación transmisora, así como conocer cuándo y dónde existen fallas o condiciones anormales en la cadena de transmisión. Todo esto con el fin de garantizar que la calidad del servicio sea lo mejor posible.

Dentro de los parámetros más importantes que deben ser monitoreadas en la estación transmisora están: la señal de transmisión, la señal de recepción, niveles de potencia, frecuencias y BER. Para lograr esto el sistema de monitoreo se divide en 5 áreas, las cuales se describirán a continuación:

1. Monitoreo de las señales fuente

a) Señales de video: Cada uno de los programas que va a ser transmitido es desplegado en monitores de video dedicados, a fin de comprobar la disponibilidad de cada uno de los programas antes de entrar a la cadena de transmisión. Ver figura 6.7.

Existe un monitor principal de alta calidad que permite evaluar la calidad de la imagen, los tonos de color y la distorsión de cada canal. Este monitor es alimentado por medio de un enrutador de video que permite seleccionar uno de los canales que se transmiten.

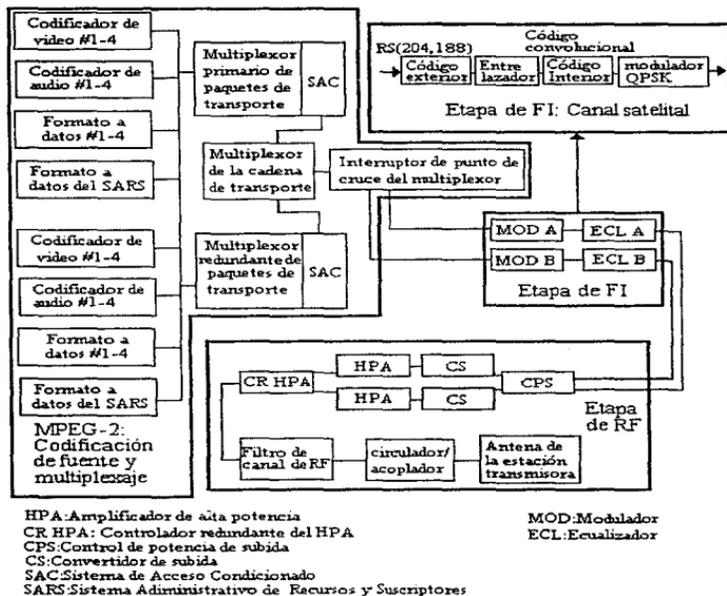


Fig. 6.9 Arquitectura básica de un sistema de transmisión

El enrutador de video también puede alimentar las señales de video a analizadores de video. Estos consisten en pantallas donde se despliega la forma de la onda y analizadores vectoriales que permiten analizar las componentes I y Q de la señales de video en formato NTSC.

Los generadores de patrones de video producen señales de prueba que son alimentadas a los monitores dedicados o a los analizadores de video por medio del enrutador como se muestra en la Fig.6.10.

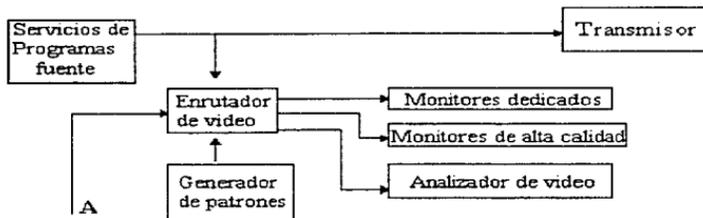


Fig 6.10 Monitoreo de las señales de video

b) Señales de audio: Cada canal de audio es monitoreado por unidades VU (volumen unit). Existen también enrutadores de audio que alimentan algunos de los canales de sonido a amplificadores con bocinas, audifonos o a un analizador de audio.

Los generadores de señales de audio se utilizan para realizar pruebas y alimentan a los diferentes equipos por medio de los enrutadores. Las conexiones para estas pruebas se muestran en la Fig. 6.11.

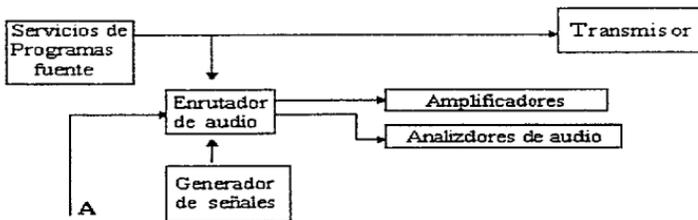


Fig 6.11 Monitoreo de las señales de audio

c) Datos: Los datos que son insertados a la programación deben ser monitoreados por medio de un monitor de datos con un analizador lógico.

2. Monitoreo de las señales de la salida de los equipos intermedios

A fin de localizar problemas y ajustar el equipo de transmisión se deben monitorear las salidas de los siguientes equipos: codificador de MPEG-2 y multiplexor (cadena de transporte MPEG-2). Para poder alimentar las señales a los equipos de prueba se necesita decodificar las señales que salen del decodificador de MPEG-2, demultiplexar la cadena de transporte y alimentarla al decodificador de MPEG-2, demultiplexar la cadena de transporte y alimentarla a los enrutadores para que puedan ser vistas en los monitores o puedan ser alimentadas a los equipos de prueba antes descritos. En la Fig. 6.13 se muestra el proceso anterior. El monitoreo de estas señales no requiere hacerse de manera continua, a diferencia del monitoreo de las señales fuente.

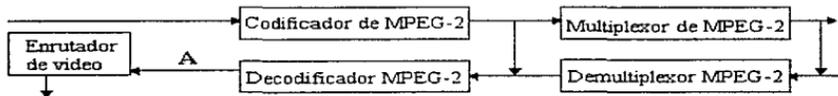


Fig 6.13 Monitoreo de la codificación y multiplexaje en MPEG-2

3. Monitoreo de las señales de FI/RF

En esta etapa se monitorean las salidas de los moduladores, los ecualizadores, los convertidores de subida y los HPA's. Los parámetros de interés son los niveles de potencia, los espectros de las señales, y la estabilidad de las frecuencias. Estos parámetros se miden con analizadores de espectro y medidores de potencia. Para poder analizar las señales de salida de el HPA se requiere de un TLT (Test Loop Translator) para adaptar las señales y poder alimentarlas a un LNB.

El satélite cuenta con un sistema transmisor que envía una señal fardo de la misma frecuencia que la señal de subida. El nivel de potencia con el que llega la señal fardo a la estación transmisora permite estimar la atenuación por lluvia y así ajustar los niveles de

potencia de transmisión a fin de compensar dicha atenuación. Un transductor convierte la señal de faro recibida en una señal de DC que alimenta al controlador de potencia de subida (CPS). La figura 6.13 muestra el diagrama de bloques del sistema de monitoreo de las señales de FI y RF.

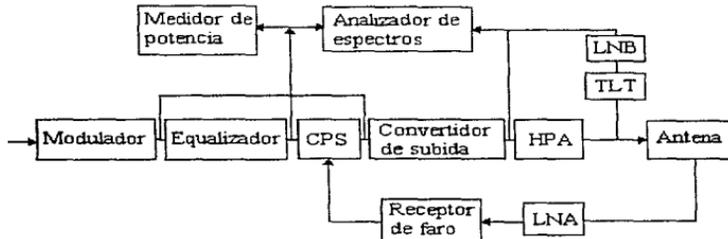


Fig 6.13 Monitoreo de las señales de FI y RF

4. Monitoreo de las señales en el extremo del usuario

Después de que el satélite retransmite los canales que son enviados desde la estación transmisora, estos canales deben ser monitoreados. Para ello se utilizan equipos IRD como los de los suscriptores. Esto asegurará la calidad de la imagen hasta el extremo receptor. Es posible analizar estas mismas señales con analizadores de audio y video. Cada uno de los programas será desplegado en un monitor dedicado a fin de verificar la disponibilidad de las señales que conforman el servicio. Además, por medio del enrutador de video se puede observar alguno de los programas en un monitor de alta calidad en el cual se evaluará la calidad de la imagen el color y la distorsión en el extremo receptor.

5. Monitoreo de errores

El monitoreo de la tasa de bits en error ofrece una rápida indicación de qué tan bien está funcionando el sistema. Existen dos métodos para medir la tasa de bit en error. El primero se conoce como esquema de comparación directa y el segundo como esquema de comparación FEC. El primer método es el más exacto, pero el más difícil de implementar.

El segundo método ofrece un error insignificante o despreciable en la estimación de la tasa de bits en error en comparación al primer método. El método de estimación de FEC se describe en la Fig 6.14

Este método de monitoreo de corrección de errores es el más utilizado comúnmente y está disponible en circuito integrado.

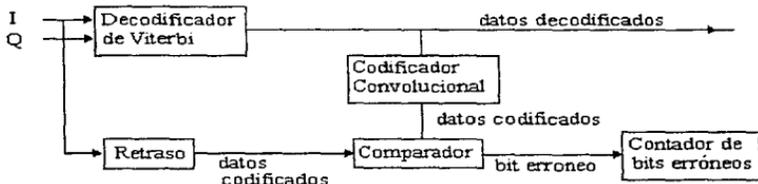


Fig 6.14 Esquema de monitoreo de tasa de bits en error

6. Sistema de enfriamiento

Los sistemas de enfriamiento proporcionan una temperatura estable al cuarto en donde se encuentran los equipos, permitiendo que la operación de éstos sea confiable. Para esto se utiliza una corriente de aire convectiva que provee de aire frío al lugar por debajo de un piso falso.

6.2.2 Receptores de DTH (IRD)

En el extremo de recepción se necesita básicamente una antena offset, un LNB y un IRD para poder procesar la señal que baja del satélite. En la Fig 6.15 se muestra un diagrama básico de los componentes de un ODU (outdoor unit) y un IRD, los cuales se explican a continuación:

- **Antena y LNB:** El plato parabólico recibe las señales que son enviadas desde el satélite. Estas señales ocupan un ancho de banda de 500 MHz por cada polarización (1GHz en total) con una portadora en la banda Ku. El polarizador circular consiste de dos sondas perpendiculares entre sí para la detección de la señal. La salida de una de las sondas se retrasa $\lambda/4$ respecto a la otra señal y se suman para detectar un determinado

sentido de polarización. Invertiendo el retraso se obtiene el otro sentido de polarización. Se puede utilizar un interruptor diodo controlado por un pequeño voltaje para seleccionar la polaridad a recibir.

El LNB filtra las señales, las amplifica con un amplificador de bajo ruido y las traslada a una frecuencia intermedia en la banda L (de 950 a 1470 MHz), para ser enviadas al IRD por medio de un cable coaxial.

- Sintonizador: El sintonizador filtra la señal del transpondedor, de alguno de los 12 que transmite el satélite, en el cual va el canal que se desea ver.

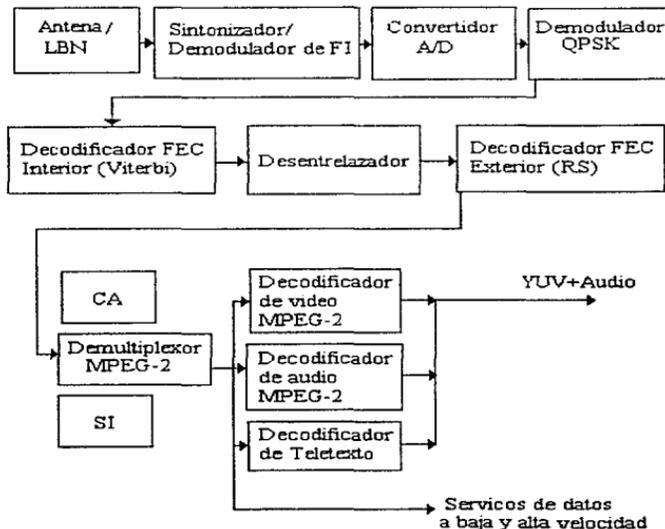


Fig 6.14 Diagrama básico de los componentes de un ODU y un IRD

- **Convertidor A/D:** Muestra la señal analógica, estas muestras serán alimentadas al demodulador de QPSK.
- **Demodulador de QPSK:** Convierte la señal muestreada en una cadena de bits. La figura 6.15 ejemplifica el proceso de demodulación.
- **Decodificador de Viterbi:** Realiza la deconvolución de la cadena de bits, emplea el criterio conocido como "soft decision" de 3 bits, en el cual existen 8 niveles entre el 0 y 1, correspondiendo 000 a un 0 seguro y 111 a un 1 seguro. El proceso de recuperación de la cadena de bits a partir de las componentes I y Q se muestra en la Fig. 6.17.

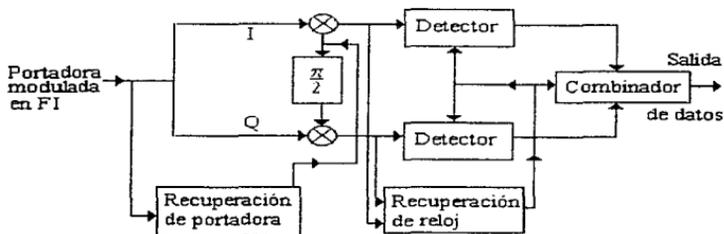


Fig. 6.15 Demodulador de QPSK.

- **Corrección de errores Red-Solomon :** Este código localiza y corrige los errores usando los 17 bytes de redundancia que tiene cada paquete.

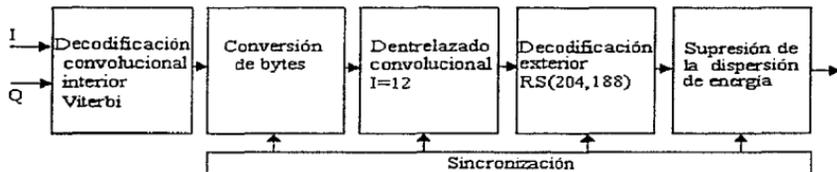


Fig 6.17 Recuperación de la cadena de bits a partir de I y Q.

- **Demultiplexor:** Separa las tramas de audio, video y datos, la EPG y la información de acceso condicional en cadenas de bits separadas.
- **Decodificador de video:** Convierte la cadena de bits de video al formato 4:2:0
- **Modulador de NTSC:** Convierte la cadena de bits de video en componentes 4:2:0 a una cadena de bits de video compuesto NSTC.
- **Convertidor D/A:** Convierte la señal digital de video compuesto en una señal analógica en banda base.
- **Modulador de RF:** Modula la señal analógica de video compuesto, junto con la señal analógica de audio para llevarla a las frecuencias de VHF de los canales 3 ó 4.

Tarjetas Inteligentes

La empresa News Datacom se encarga de proveer del sistema de encriptación a través de una tarjeta inteligente. Esta empresa provee los sistemas de seguridad y de acceso condicionado para el servicio DirecTV en los E.U., el servicio BSKyB en el Reino Unido y el servicio StarTV en Asia.

El sistema está basado en una tarjeta inteligente del tamaño de una tarjeta de crédito. La tarjeta lleva un chip que tiene un procesador y una memoria la cual almacena la información de la suscripción del usuario. Cuando es introducida en el decodificador digital del sistema de recepción como se muestra en la Fig 6.17, la tarjeta permite al usuario ver la programación que contrató.



Fig 6.17 Tarjeta inteligente en el IRD

La tecnología de esta tarjeta inteligente sirve como una vía activa de seguridad la cual controla el proceso de decodificación. Como la tarjeta es reemplazable, es altamente efectiva en contrarrestar rápidamente los ataques de la piratería. Además, ofrece la oportunidad de introducir nuevas opciones para negocios y protege contra la obsolescencia a través de la incorporación de avances en la tecnología de la tarjeta inteligente.

Entradas y salidas de un decodificador (Modelo Sony SAT-A1)

- Puerto de salida de datos de baja velocidad (servicios futuros)
- Entrada para conectar el LNB
- Puerto para datos de banda ancha (servicios futuros como HDTV)
- Tres conectores tipo RCA estéreo y dos para video.
- Salida para S-video
- Entrada y salida para VHF/UHF, en la salida de VHF esta disponible, en el canal 3 ó 4, la programación proveniente del satélite.
- Salida para conexión al teléfono, necesaria para programas especiales
- Entrada para alimentación eléctrica

Televisión de alta definición. Tecnología actual y perspectivas

La televisión de alta definición será el estándar de transmisión en los años venideros ofreciendo una calidad de imagen igual al de una película de cine de 35 mm. Esto quiere decir que manejará entre 1050 y 1250 líneas por cuadro, en lugar de las 525 a 625 líneas, dependiendo del sistema. Además la imagen tendrá una relación de aspecto 16:9 en lugar del tradicional 4:3 de la televisión actual. Este sistema manejará sistemas de audio semejantes a los usados en las salas de cine, además de permitir la selección de diferentes idiomas.

Desde el punto de vista de la transmisión, se necesitó utilizar la tecnología de compresión mas avanzada, además de esquemas de modulación más poderosos a fin de poder utilizar los anchos de banda disponibles actualmente. La HDTV requiere una tasa de información de cuatro a cinco veces mayor que la que requiere un canal de televisión digital comprimido.

La recepción de alta calidad implica tener sistemas de transmisión lo suficientemente robustos para generar una señal libre de errores que llegue de la misma manera hasta el usuario final dentro del área de cobertura.

7.1 Evolución de los sistemas de HDTV

A principios de los años ochenta Sony y NHK desarrollaron un sistema de televisión de alta definición para ofrecerlo a las compañías productoras de cine. Este sistema ofrecía imágenes tan detalladas como las que producía una película de 35 mm, de manera que, una escena se podía grabar, editar y reproducir inmediatamente lo cual eliminaba muchos de los retrasos usuales de la producción convencional de cine.

Como consecuencia de la introducción de la HDTV en la industria filmica se comenzó a pensar en desarrollar un sistema HDTV para radiodifusión comercial. Tal sistema tendría el doble de líneas verticales y horizontales que los sistemas convencionales.

El problema más importante que enfrenta la HDTV es el mismo que enfrentó la televisión a color en 1954, la compatibilidad con los sistemas ya implantados. Hay aproximadamente 600 millones de televisores en el mundo y aproximadamente el 70% de ellos son a colores.

A pesar de lo que generalmente se piensa, el concepto fundamental de la televisión de alta definición no es aumentar la definición por unidad de área, sino aumentar el porcentaje de campo visual de la imagen. La mayoría de los sistemas de HDTV propuestos trabajan con un incremento del 100% en el número de pixeles horizontales y verticales. Lo anterior resulta en un aumento del ángulo de visión. La mayoría de los sistemas de HDTV proponen un cambio de la relación de ancho contra altura de 16:9 en lugar del 4:3 que actualmente se usa, produciendo una imagen mucho más parecida a una imagen de cine.

La tabla 7.1 resume algunas de las características más importantes de algunos de los sistemas analógicos de HDTV más comunes, y las compara con los sistemas convencionales de televisión (SDTV). Se hace notar que no se incluyen las propuestas de la Gran Alianza ni otras propuestas completamente digitales.

La distancia óptica óptima (expresada en alturas de cuadro, H) es la distancia a la que el ojo puede percibir los elementos de detalle en la imagen.

7.2 Características del formato HDTV

7.2.1 Ancho de banda

En el mejor caso, un ciclo de frecuencia de video analógico puede contener la información dos pixeles. Una imagen de video en formato NTSC convencional tiene 525 líneas que se exploran a 29.97 Hz con una resolución horizontal de 427 pixeles. Esto da un ancho de banda mínimo de 3.35 MHz (suponiendo 2 pixeles por ciclo de video) para llevar la información de video sin compresión.

Considerando una imagen de HDTV con 1050 líneas a 600 pixeles (conservando la misma relación de imagen), esta requiere un ancho de banda de 18 MHz, lo que nos originaría un problema considerando que los canales terrestres están limitados a 6 MHz.

Para contrarrestar el problema anterior se cuenta con las siguientes opciones, para transmitir por canales terrestres, tomando un ancho de banda de 20 MHz :

Tabla 7.1 Comparación entre sistemas HDTV y SDTV analógicos

	P/E	Líneas totales	Líneas activas	Resol vertical	Resol horiz.	Dist óptica	Rel de aspecto	Visión vertical	Visión horiz.	BWB GHz
HDTV E.U.	p	1050	960	675	600	2.5 H	16/9	23°	41°	8
HDTV analog Europa	p	1250	1000	700	700	2.4 H	16/9	23°	41°	9
HDTV NHK	e	1125	1080	540	600	3.3 H	16/9	17°	30°	20
NTSC conv.	e	525	484	242	330	7 H	4/3	8°	11°	4.2
NTSC prog	p	525	484	340	330	5 H	4/3	12°	16°	4.2
PAL conv.	e	625	575	290	425	6 H	4/3	10°	13°	5.5
PAL prog	p	625	575	400	425	4.3 H	4/3	13°	18°	5.5
SECAM conv	e	625	575	290	465	6 H	4/3	10°	13°	6
SECAM prog	p	625	575	400	465	4.3 H	4/3	13°	18°	6

p- progresivo, e - entrelazado, BWB ancho de banda base

La relación de aspecto se define como W/H donde W es el ancho de la imagen y H es el alto de la imagen.

1. - Cambiar el ancho de banda de los canales terrestres de 6 a 20 MHz.
2. - Comprimir la señal de tal manera que quepa dentro de las bandas existentes de 6 MHz.
3. - Asignar canales múltiples (2 con compresión) para la señal de HDTV.

Las opciones 1 y 2 son incompatibles con el formato NTSC, por lo que la única manera de mantener la compatibilidad es la transmisión simultánea de información NTSC sobre ciertos canales e información de HDTV sobre otros. Como se verá en la sec. 7.6 la FCC decidió utilizar la opción 2, a fin de conservar la compatibilidad.

La opción 3 si permite la compatibilidad al conservar en los primeros 6 MHz de la señal el estándar NTSC y en el resto se puede mandar la información adicional para HDTV.

En este tipo de transmisión un canal de VHF se podría asociar a uno o dos canales de UHF. El canal de VHF transportaría la información similar al NTSC actual y los canales de UHF llevarían la información necesaria para obtener una alta resolución.

7.2.2 Tipo de barrido de la imagen

La máxima resolución vertical que ofrece un sistema de televisión es mayor que la resolución que realmente se observa. Esta reducción en la resolución se debe a la posibilidad de que las líneas de barrido no siempre coinciden con los píxeles a iluminar. Los estudios realizados sobre este fenómeno presentan una resolución efectiva de aproximadamente el 70% (factor de Kell) para sistemas de barrido progresivo. Si la imagen es de barrido entrelazado este factor sólo es válido si la imagen es completamente estacionaria, si es una imagen en movimiento esta resolución cae hasta en un 50%.

Así mismo el entrelazado también produce bordes aserrados en los objetos en movimiento así como cuadros mal alineados. Debido a estos problemas, la mayor parte de las propuestas de HDTV están a favor del barrido progresivo. Además el barrido progresivo es compatible con los monitores de computadora actuales, lo que facilitaría su uso como terminales de red pudiendo ofrecer una variedad de servicios tales como Internet o videocompras.

7.2.3 Compresión

Una señal de HDTV ocupa más de 20 MHz, por lo que es necesario comprimirla a fin de transmitirla ya sea en los canales terrestres de 6 MHz, o de transpondedores de 27 MHz o más. La empresa japonesa NHK transmite actualmente programación en formato HDTV, para esto reduce el ancho de banda de la señal de 20 a 8.15 MHz mediante el sistema MUSE, para que al modularla en FM pueda ser transmitida a través de uno de los satélites de la empresa.

La parte más interesante de la compresión es que la compresión de los sistemas analógicos está implementada digitalmente con lo que la frontera entre lo analógico y lo digital se comienza a desvanecer.

7.3 Medios de difusión de HDTV

Con la asignación de frecuencias actual para radiodifusión vía satélite y la alta densidad de servicios existentes en dichas frecuencias, la transmisión de HDTV es probable

encontrarla en la banda de los 20 GHz o por arriba de ella, debido a que en esta banda existe 10 veces más ancho de banda que en la banda Ku.

Para el equipo, tanto del satélite como del usuario, se necesita de tecnologías avanzadas debido a la alta tasa de información, la necesidad de minimizar tamaños, reducir precios, pero sobre todo debido a la gran atenuación que sufre la señal en la atmósfera al usar las altas frecuencias de las bandas llamadas de "ondas milimétricas".

Como se ha visto en los capítulos anteriores la radiodifusión de televisión digital vía satélite ofrece a los usuarios la posibilidad de recibir más canales y con una mayor calidad. Lo anterior lleva a que el siguiente paso será mejorar la imagen a una calidad similar a la del cine.

Las opiniones sobre HDTV se dividen en dos, aquellos que opinan que HDTV será exitosa fuera de los canales terrestres convencionales y los que opinan que HDTV puede y debe usar los canales terrestres.

Los canales terrestres tiene un ancho de banda de 6 MHz. Generalmente el servicio en un área dada (aproximadamente un círculo de 75 km. de diámetro alrededor de la estación transmisora) se ofrece en canales saltados a fin de evitar interferencias lo que reduce los canales disponibles. Además de lo anterior se debe considerar que el rango de canales disponibles es pequeño.

En 1987, la FCC publicó un reglamento que indicaba que los estándares de la HDTV deberían ser compatibles con los existentes de NTSC y que se deberían restringir a las bandas de frecuencia de VHF y UHF. En 1990, la FCC anunció que la HDTV debería ser transmitida simultáneamente y que debería ser un estándar de HDTV completo y no un estándar de televisión de resolución aumentada (EDTV). Estas dos decisiones son contradictorias ya que la primera lleva hacia un formato de aumento en donde el servicio en NTSC permanecería intacto y los nuevos canales proporcionara la información faltante para HDTV. En cambio la decisión de 1990 lleva a que no exista compatibilidad permitiendo que HDTV y NTSC sean transmitidas simultáneamente durante un lapso de varios años durante los cuales desapareciera el formato NTSC.

Sin embargo, la FCC no decide la asignación de ancho de banda para los sistemas de cable. Las compañías de cable tienen la opción de adoptar los sistemas digitales de la Gran Alianza, o crear sistemas propietarios.

7.4 Sistema MUSE

Japón es el único país que actualmente transmite señales de HDTV. Este servicio es analógico, pero con el comienzo de transmisiones de DTH digital se espera un rápido desarrollo de los sistemas de HDTV digital.

El sistema de HDTV analógico usado actualmente es llamado MUSE y su historia se remonta al año de 1968 cuando NHK comenzó a cambiar su sistema para cinematografía a fin de lograr un sistema comercial. Fue entonces que se desarrolló un sistema de 1125 líneas analógico con técnicas de compresión analógicas. Este sistema es entrelazado a 60 Hz con una relación de pantalla de 5:3 y una distancia de vista de 3.3H. El ancho de banda de precompresión para Y es de 20 MHz y para la crominancia es de 7 MHz. La tabla 7.2 muestra los cambios que sufrió este sistema a través del tiempo.

Tabla 7.2 Evolución del sistema MUSE

	Líneas por cuadro	Cuadros por seg.	Luminancia BW en MHz	Crominancia de banda ancha BW en MHz	Crominancia de banda ancha BW en MHz	Rel. de aspecto
NHK 1980	1125	60 Hz	20 MHz	7 MHz	5.5 MHz	5/3
MUSE 1986	1125	60 Hz	20 MHz	6.5 MHz	5.5 MHz	5/3
SMPT E 1987	1125	60 Hz	30 MHz	30 MHz	30 MHz	16/9

Los ingenieros japoneses rechazaron la transmisión usando banda lateral vestigial similar a lo usado por el estándar NTSC. La transmisión en FM no era posible ya que en la banda Ku que era la disponible en los satélites se necesitaban cerca de 3 kW de potencia para obtener una relación señal a ruido de 40 dB. Por lo tanto, lo que se propuso fue transmitir las señales Y y C por separado. Esto disminuye el rango de frecuencia efectivo y reduce la potencia requerida a unos 570 W aproximadamente (360 para Y y 210 para C) lo cual es más factible para las transmisiones vía satélite.

Por la naturaleza del ojo humano hay otra manera como también se puede ahorrar potencia. Este método es el énfasis de las frecuencias altas ya que ojo no responde al ruido en las bajas frecuencias. Con este método la potencia necesaria se reduce hasta 260 W (190 para Y y 69 para C).

El sistema MUSE usado actualmente para la HDTV en Japón es una modificación del estándar NHK adaptado a transmisión directa por satélite. El ancho de banda de una señal de HDTV es muy grande para el ancho de banda de un transpondedor de DBS por lo que la señal se debe comprimir.

En un principio la señal de HDTV se muestrea a 48.6 MHz. Esta señal controla dos filtros, uno que responde a las partes estacionarias de la imagen y otro que responde a las secciones móviles. La salidas de los dos filtros se combinan y se submuestran a 16.2 MHz. Lo anterior produce un tren de pulsos que se convierte a analógico con una frecuencia base de 8.1MHz. Esto resulta en transmisiones de la señal que representan únicamente cada tercer cuadro. Los objetos estacionarios no se afectan y aparecen a toda su resolución. Los objetos en movimiento si se afectan, sin embargo el ojo humano no es tan sensible a la mayoría de estos cambios. La figura 7.1 muestra un ejemplo de una imagen para el sistema MUSE.

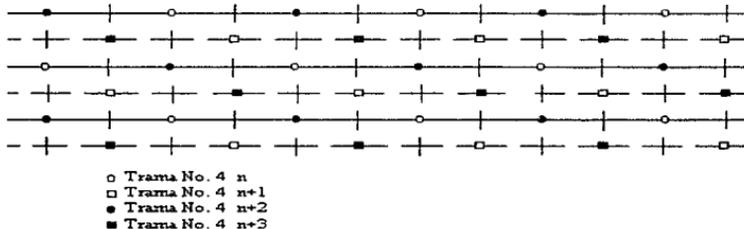


Fig 7.1 Ejemplo de una estructura para el sistema MUSE.

7.5 Sistema MAC

El sistema de Componentes Analógicos Multiplexados (MAC por sus siglas en inglés de Multiplexed Analog Components) fue el sistema originalmente propuesto para ser el estándar europeo para HDTV. Los planes originales pronosticaban que para 1995 este estaría en uso. Sin embargo por varias razones principalmente por causas políticas y de falta de interés de los inversionistas en los sistemas de HDTV, el sistema MAC nunca evolucionó hacia el sistema HD-MAC.

A pesar de la poca penetración de los sistemas MAC, vale la pena estudiar los aspectos técnicos de compresión. Básicamente la compresión en el MAC se puede decir que la información R-Y se manda en un barrido y la información B-Y en el siguiente. La información de diferencia de color y luminancia se manda en una señal multiplexada en el tiempo. Si se observa la señal en el tiempo (ver figura 7.2), la primera parte contiene información de audio, después va la crominancia (R-Y o B-Y), y por último la luminancia.

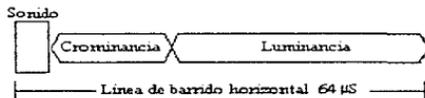


Fig 7.2 Información contenida en una línea del sistema MAC

Para obtener esta señal se requiere de procesamiento digital. Primero las señales de luminancia, la R-Y y la B-Y se muestrean y se almacenan digitalmente. La luminancia se muestrea a 13.5 MHz y las señales de diferencia de color a 6.75 MHz. Una vez realizado esto, se comprimen: la luminancia a una relación de 3:2 y la crominancia a 3:1.

Los trenes de pulsos obtenidos se convierten a forma analógica. La compresión en el tiempo que se logra de esta operación les permite ser multiplexadas en el dominio del tiempo a fin de caber dentro del tiempo de barrido horizontal de 64 μ S.

7.6 Estándar de la Gran Alianza

Como Gran Alianza se conoce a la unión de diversos estándares para crear una televisión de alta definición completamente digital.

En 1987, como ya se mencionó antes, la FCC publicó un reglamento indicando que los estándares HDTV deberían ser compatibles con el servicio NTSC existente y que debería quedar confinada a las bandas de VHF y UHF existentes.

Para fines de 1988, la FCC había recibido 23 propuestas diferentes para HDTV, las cuales eran analógicas o una mezcla analógica-digital (como el MUSE) además de presentar diferentes opciones para la resolución, el método de barrido y el ancho de banda.

En 1990, la FCC cambió de parecer y anunció que la televisión debería ser transmitida simultáneamente a el sistema NTSC y que debería ser un sistema completamente dedicado para HDTV.

En mayo de 1990, General Insutrument Corp. planteó la primera propuesta de una HDTV totalmente digital. En diciembre de 1990, ATRC anunció su entrada al mundo de la televisión de alta definición en forma digital, seguido rápidamente por Zenith, AT&T y el MIT. Estos sistemas fueron probados durante el siguiente año junto a un sistema MUSE modificado. Pero no fue hasta febrero de 1993 cuando la FCC tomó una decisión sobre la necesidad de un sistema completamente digital, pero como no se podía decidir por ninguno de los estándares propuestos recomendó la creación de un estándar común entre AT&T, General Instruments, MIT, Phillips Consumer Electronics, David Sarnoff Research Center, Thomson Consumer Electronics y Zenith. Este estándar debería según la recomendación de la FCC, tomar lo mejor de cada estándar e incluirlo en uno solo.

Este nuevo sistema se probó por primera vez en el verano de 1996 al transmitir los Juegos Olímpicos de Atlanta y para fines de 1998, 26 de las principales emisoras de Estados Unidos esperan comenzar a transmitir en dicho sistema comercialmente. Estas emisoras transmitirán ambos estándares simultáneamente, pero para el año 2006 esperan eliminar el sistema NTSC. Sin embargo al principio será difícil ya que los costos de un televisor de 27 pulgadas será de aproximadamente 1500 Dls., lo cual lo hará incosteable para muchos usuarios al principio, aunque posteriormente se espera que bajen los precios. En México se espera que la televisión de alta definición entre durante 1999 una vez que el sistema sea probado en Estados Unidos.

El estándar de la Gran Alianza difiere de los estándares de televisión existentes en tres aspectos principales. Es un estándar completamente digital basado en la transmisión de paquetes de bits, soporta varias calidades de imagen y está diseñado para ser compatible con las computadoras siendo una puerta de entrada a Internet.

En el año de 1996, la FCC aprobó el estándar del ATSC (Advanced Television Systems Committee) para difusión digital, basado en el estándar de la Gran Alianza. En ese mismo año Zenith usó su sistema de transmisión para la primera difusión de HDTV comercial, la cual se realizó en Washington, D.C., utilizando un esquema de modulación VSB. Zenith presentó la primera televisión pública de HDTV en México. Los representantes de las industrias de difusión, de aparatos electrónicos y computadoras acordaron mantener el núcleo de la tecnología de la Gran Alianza y adoptar el estándar propuesto por la FCC. Posteriormente la FCC adoptó el estándar de televisión digital basadas en el sistema de la Gran Alianza, incluyendo la tecnología VSB de Zenith.

Zenith ha apoyado los esfuerzos de los gobiernos de E.U. y México, así como de los difusores, para la utilización del estándar del ATSC en México. Zenith está impulsando y apoyando a los productores de equipo mediante apoyo técnico para el rápido funcionamiento comercial de esta tecnología. Zenith planea introducir los primeros aparatos de HDTV en el año de 1998, también están planeadas cajas receptoras que permitan recibir la señal de HDTV y desplegarla en aparatos de TV convencionales.

El sistema de la Gran Alianza permitirá recibir señales de HDTV compuestas por más de 2 millones de píxeles, una resolución espacial aproximadamente de 6 veces, además de manejar 60 cuadros por segundo en lugar de los 29.97 cuadros por segundo de NTSC.

Debido a que las imágenes son digitales, no existen fantasmas en la señal, nieve, interferencia, ni otros problemas comunes, por lo que la señal será excelente o ausente.

Al igual que en las transmisiones de NTSC analógico, la calidad las señales de HDTV se definen de acuerdo a áreas de cobertura donde la relación señal a ruido es mayor a los 28 dB en 90% del tiempo. Fuera de esta área no será posible recibir la señal de HDTV debido a las características del sistema.

El sistema de transmisión utilizado para la difusión de HDTV digital terrestre utiliza una modulación BLV de 8 niveles, la cual permite contrarrestar las condiciones adversas que se presentan en las transmisiones terrestres.

La modulación 8-BLV consiste en una modulación QAM de 4 niveles más una codificación de Trellis que convierte la entrada de 4 niveles a una salida de 8 niveles.

Para la compresión se usa un algoritmo MPEG-2 de perfil principal y nivel alto con compensación de movimiento, y utilización de cuadros B. La compresión de video es a 19.4 Mbps que se transmite en un canal estándar de 6 MHz. La compresión de audio es con Dolby digital de 5.1 canales. En el capítulo 3 se desarrolló la teoría sobre el funcionamiento del MPEG-2.

La compatibilidad del estándar de la Gran Alianza con los sistemas de cómputo permitirá usar las televisiones como terminales de red además de permitir la utilización de aplicaciones multimedia grabadas en diversos sistemas de almacenamiento como puede ser un CD-ROM.

La transmisión de HDTV usando MPEG-2 se basa en la propiedad de escalabilidad de este estándar. El objetivo de la codificación escalable es proveer de interoperabilidad entre diferentes servicios y flexibilidad para los receptores con distintas capacidades de resolución. Se trata de receptores que sean capaces de sacar por pantalla señales de video con una resolución menor a la que están preparados. Esto es interesante, por ejemplo, en la

coexistencia de la HDTV y la televisión convencional, SDTV, ya que así se evitaría tener que difundir dos tramas independientes, una para cada sistema.

En un sistema de codificación de video multiescalable primero se diezma espacial o temporalmente la señal de vídeo de entrada para obtener una resolución menor. El código obtenido se introduce en una trama base a una tasa binaria baja. Luego se hace una interpolación, aumentando el número de muestras (tanto espacial como temporalmente), que se usa para hacer una predicción de la señal original. El error de predicción es codificado e introducido en la trama base obteniendo así la trama completa. Si el receptor no tiene capacidad de escalado, entonces sólo decodificará los bits de la trama correspondientes a la señal diezmada. Pero si tiene dicha capacidad en el receptor se podrá elegir la resolución final (HDTV o SDTV).

Como se mencionó en la sección 3.4.3 existen diferentes tipos de perfiles, y niveles. Para la transmisión de HDTV se utilizan los niveles principal, alto 1440 y alto, y los perfiles espacial y alto. Los diferentes niveles se explican en la tabla 3.6 del capítulo 3. Los perfiles espacial y alto contienen algoritmos dedicados para la codificación de imágenes con calidad HDTV. En la tabla 7.3 observan los formatos de las imágenes de calidad HDTV que se pueden manejar con los diferentes perfiles y niveles.

Tabla 7.3 Formatos de imágenes HDTV que se pueden manejar con MPEG-2.

	Perfil Espacial	Perfil Alto
Nivel Principal		4:2:0 ó 4:2:2 720x576. Velocidad: 15Mbps
Nivel Alto 1440	4:2:0 1440x1152 Velocidad: 60Mbps	4:2:0 ó 4:2:2 1440x1152 20Mbps
Nivel Alto		4:2:0 ó 4:2:2 1920x1152 Velocidad: 80 Mbps

7.8 Sistema HD-SAT

El proyecto HD-SAT tiene como finalidad desarrollar sistemas de transmisión de HDTV digital vía satélite en la banda Ka (30/20 GHz). En este proyecto participan Alcatel de Francia, BBC de Inglaterra, RAI de Italia, Universidad de Salford en Inglaterra, entre otros. El proyecto está a cargo de la RACE (Research and Development in Advanced Communications Technologies).

Este sistema se basa en el estándar DVB-S, y está pensado para ser compatible con futuros sistemas de HDTV tanto por cable como terrestre. El proyecto HD-SAT usará barrido progresivo ya que esto facilita el filtrado de las imágenes y el cambio entre diferentes formatos. También usará la modulación QPSK ya que a pesar de no ser la más eficiente, es la más adecuada en términos de estandarización.

El sistema HD-SAT maneja velocidades de transmisión de 70Mbps para un canal de HDTV, mientras que sistemas como DVB y DSS manejarían imágenes HDTV con velocidades entre 20 y 40 Mbps, de 1 a 2 canales de HDTV en un transpondedor de 27MHz, a través de los puertos de alta velocidad integrados a los IRD actuales.

En 1995 se realizó la primera demostración pública de este sistema en Francia. Para las demostraciones se usaron los satélites Olympus y Kopernicus que trabajan en la banda de 20/30 GHz.

La última versión del borrador de la ITU-R 10-11S "Consideraciones para la introducción de sistemas BSS (HDTV)" integra contribuciones del proyecto HD-SAT tales como descripción preliminar del sistema y estrategias de asignación de frecuencias para la banda 30/20 GHz.

Conclusiones

Al inicio de este trabajo se describieron los tres sistemas de difusión de televisión analógica, por tierra, por cable y por satélite, con el propósito de resaltar las características, ventajas y desventajas de cada uno de ellos. Los sistemas terrestres sólo llevan unos cuantos canales de televisión, aunque en un futuro se espera que con la introducción de los sistemas digitales, se pueda competir con los sistemas de DTH digital. Los sistemas por cable representan la competencia más fuerte para los sistemas de DTH digital en las zonas metropolitanas. Hasta antes de la introducción de los sistemas de DBS, los sistemas por cable eran la mejor opción para la distribución masiva de programas de televisión. Se espera que próximamente se introduzca el servicio de televisión digital por cable.

Los sistemas de DTH digital ofrecen varias ventajas, entre las que sobresalen la calidad de imagen y sonido, el número de canales disponibles en un mismo sistema, y la capacidad de enviar datos. Además, la difusión por satélite permite que el costo de implementación del enlace sea independiente tanto de la ubicación de los usuarios (no es sensible a la distancia), así como de su número. Estos sistemas tienen una cobertura mucho mayor que los sistemas terrestres y de cable, aunque su capacidad potencial de interactividad es menor que la de un sistema por cable.

En contraparte los sistemas de DTH presentan algunas desventajas. Por ejemplo, el equipo que adquiere el usuario sólo es capaz de recibir los canales que provee la compañía con la que contrató. se requiere de un decodificador para cada aparato de televisión o videocasetera en caso de querer ver o grabar diferentes canales simultáneamente.

La compresión del video es posible gracias a la transformada DCT y a ciertas técnicas de compensación de movimiento (existen otras técnicas, pero no son usadas en difusión de televisión). Debido a las características de los estándares actuales, estas técnicas de compresión pueden seguir siendo mejoradas, permitiendo la evolución de los sistemas de codificación, sin alterar los equipos de decodificación. Esto permite que los prestadores del servicio inviertan en el lado transmisor, en vez de invertir en cada receptor.

Un aspecto importante de los nuevos sistemas de DTH digitales, es la reducción de costos, ya que el costo por transpondedor se comparte por aproximadamente 6 canales de televisión, y no uno solo como sucedía anteriormente. Esto permite invertir en satélites con más potencia, sistemas de compresión más eficientes, y la infraestructura propia para hacer de los sistemas de DTH digital un negocio atractivo.

El éxito de los sistemas de DBS no radica únicamente en los avances tecnológicos que lo conforman, sino que se debe poner especial atención en la calidad y variedad de los programas que este sistema ofrece, ya que son estos los que pueden asegurar la aceptación de un sistema de DTH. Influyen otros factores como el precio de la programación, si el usuario tiene que comprar o rentar el equipo de recepción, la opción de otros servicios actuales y a futuro, y la mercadotecnia que se utilice.

Es importante destacar los esfuerzos de los prestadores de servicios satelitales y los representantes de la industria de la electrónica de consumo, tanto de Europa como de otras partes del mundo, por crear el estándar DVB. Este estándar usado para la difusión de DTH digital permite una homogeneización de los sistemas de DTH a nivel mundial. Además, es el primer paso hacia la introducción de sistemas de televisión digital terrestres y por cable, así como la interoperabilidad de los tres sistemas.

La ventaja principal de un sistema de DTH, es la gran cantidad de canales que se pueden transmitir desde una misma posición orbital. Esto es posible gracias a las técnicas de compresión de audio y video (codificación fuente), y a las adaptaciones necesarias a la cadena de bits para que pueda ser transmitida por un canal satelital (codificación de canal). Lo anterior, junto con la utilización de sistemas de satélites de alta potencia, permite la implementación de verdaderos sistemas de difusión directa al hogar de tamaño y precios accesibles, en contraste con los sistemas de transmisión en la banda C.

En el apéndice 4 se mostraron los cálculos de los enlaces para la transmisión de video analógico en la banda C y digital en la banda Ku. En los enlaces en banda C se aprecia la necesidad de platos parabólicos grandes (2 a 3m) en comparación con las antenas necesarias para recibir en banda Ku (60-90 cm). Además, los cálculos muestran los niveles de potencia con los que trabajan cada uno de los sistemas, así como los requerimientos mínimos necesarios para el funcionamiento de los mismos en base a los estándares de difusión de televisión digital en la banda Ku y las recomendaciones de la CCIR.

El servicio de difusión de televisión analógica en banda C está orientado a la alimentación de estaciones locales de televisión y servicios de cable, aunque puede ser usado también como servicio de DTH, mientras que el servicio de televisión digital en banda Ku está orientado a ofrecer únicamente servicios de DTH.

Los sistemas de DTH digital permiten establecer un compromiso entre la capacidad de transmisión (número de canales de TV por transpondedor) y los requerimientos de potencia (PIRE y diámetro de la antena). Esto permite configurar un sistema de DTH dependiendo del ancho de banda del transpondedor, la potencia de transmisión, la calidad y cantidad de canales a transmitir, y las características de la estación terrena de recepción.

Debido a que los sistemas de DTH tienen a evolucionar rápidamente, este trabajo se vuelve incompleto a cada momento, sin embargo, el panorama que presenta está basado en sistemas reales y aún en el caso de las expectativas, éstas se mencionan con fundamento en que ya se está trabajando en ellas para cumplir sus objetivos.

Finalmente, cabe hacer notar que cualquier avance en las tecnologías utilizadas por este sistema se verá reflejado como una mejora en los mismos. Como ejemplo, se puede mencionar el diseño de nuevos satélites inteligentes, los cuales tienen la capacidad de realizar procesamiento de las señales a bordo, y no sólo ser repetidores pasivos. Sin embargo la teoría detrás de los nuevos sistemas digitales estará basada en los principios que aquí se presentan.

Este trabajo se basó exclusivamente en las tecnologías digitales para transmisión de televisión vía satélite, una extensión de este trabajo podría cubrir los aspectos teóricos y de implementación de la transmisión de televisión digital tanto terrestre como por vía cable.

Apéndice 1

Glosario

ATSC Advanced Television System Committee. Este comité suplirá al NTSC.

AM Amplitud Modulada. En este tipo de modulación la amplitud de la portadora varía proporcionalmente a la amplitud de la señal moduladora.

ATP Atenuador por pasos.

Back Off Diferencia de potencia de entre el punto de saturación y el punto de operación de un amplificador.

Beacon Equipo transmisor del satélite con el que se adquiere el control de potencia del enlace ascendente y compensa su nivel en función de las condiciones atmosféricas adversas.

BLV Banda Lateral Vestigial. En este tipo de modulación se filtra una de los lados del espectro, quedando sólo una pequeña porción de la información original en ese lado.

BSS Broadcast Satellite Service, Servicio de difusión por satélite. Se aplica a la difusión de cualquier tipo de servicio.

BW Band Width. Ancho de banda.

CATV Community Antenna Television. Televisión de antena comunitaria.

Campo Conjunto de líneas de barrido espaciadas equidistantemente y secuencialmente exploradas sobre el área de la imagen.

CCIR Comité Consultatif International de Radio. Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones.

CONUS Contiguous United States. Estados Unidos de Norteamérica continental contiguo, sin incluir a Alaska y Hawaii.

CPS Control de potencia de subida.

Crominancia La diferencia colorimétrica entre cualquier color y un color de referencia de igual luminancia.

Cuadro Exploración de toda el área de la imagen durante una sola vez. En el sistema de exploración de líneas entrelazadas de dos a uno, un cuadro consiste en dos campos.

DBLPS Modulación en Doble Banda Lateral con Portadora Suprimida.

DBS Direct Broadcast System. Sistema de Difusión Directa por Satélite. Sólo se aplica a la difusión digital de radio y televisión.

DCT Discrete Cosine Transform. Transformada Coseno Discreta.

DISH Digital Sky Highway.

DTH Direct To Home. Servicios de televisión y radio directos al hogar.

DTM Digital Transmodulation, Transmodulación digital. Conversión entre dos modulaciones digitales.

DSS Digital Satellite Service. Sistema de recepción de televisión vía satélite utilizado por DirecTV.

DVB Digital Video Broadcast. Difusión de video digital. Estándar para la transmisión de televisión digital.

E_b/N_o Cociente entre la energía de un bit y la energía del ruido en 1Hz.

EDTV Enhanced Definition Television. Televisión de alta calidad.

EHF Extra High Frequency. Ver figura 1.9

ETSI European Telecommunications Standards Institute. Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones.

Entrelazado Forma de exploración en la cual toda la imagen es explorada barriéndola por medio de dos o más conjuntos de líneas con espaciamientos equidistantes, estando cada conjunto distribuido sobre toda el área de la imagen. Las líneas de cada conjunto son barridas secuencialmente y están localizadas entre las líneas de barrido procedentes subsiguientes.

EPG Electronic Program Guide. Guía de programación en pantalla.

FCC Federal Communications Commission. Comisión Federal de Telecomunicaciones de E.U.

- FI** Frecuencia Intermedia.
- FM** Frecuencia Modulada. En este tipo de modulación, la fase de la portadora varía proporcionalmente a la amplitud de la señal moduladora.
- FSS** Fixed Satellite Service. Servicio Fijo por satélite, se aplica a servicios punto - punto.
- GI** General Instruments.
- GOP** Group of Pictures. Grupo de imágenes.
- HDTV** High Definition Television. Televisión de alta definición.
- HF** High Frequency. Ver figura 1.9
- HPA** High Power Amplifier. Amplificador de alta potencia.
- IEC** International Electrotechnical Commission. Comisión Electrotécnica Internacional.
- IRD** Integrated Receiver Decoder. Decodificador-receptor integrado. Dispositivo capaz de recibir, sintonizar y decodificar señales.
- ISBN** Integrated Services Business Network. Red de servicios integrados para negocios.
- ISO** International Standard Organization. Organización Internacional de Normalización.
- KPA** Klystron Power Amplifier. Amplificador de potencia tipo Klystron.
- LF** Low Frequency. Ver figura 1.9
- LHCP** Left Hand Clockwise Polarization. Polarización circular izquierda.
- LNA** Low Noise Amplifier. Amplificador de bajo ruido.
- LNB** Low Noise Block. Bloque de bajo ruido.
- LNC** Low Noise Converter. Convertidor de bajo ruido.
- Luminancia** Flujo luminoso emitido, reflejado, o transmitido por unidad de ángulo sólido y por la unidad del área proyectada de la fuente.
- MCPC** Multi Carrier Per Channel. Portadora multicanal (ó multiple).
-

MIPBO Back off de entrada para multiportadora.

MF Medium Frequency. Ver figura 1.9

MOPBO Back off de salida para multiportadora

MPEG Moving Pictures Expert Group.

MUSE Multiple sub-Nyquist sampling encoding.

MUSICAM Masking-pattern-adapted universal sub-band integrated coding and multiplexing.

NTSC National Television System Committee.

PAL Phase Alternation Line.

PES Packetised Elementary Streams.

PIRE Potencia isotrópica radiada efectiva.

Potencia radiada aparente Potencia que se alimenta a la antena por la ganancia de la antena en una dirección.

PSI Program Specific Information. Parte del PES de una cadena MPEG que permite identificar un programa y decodificarlo correctamente.

QAM Quadrature Amplitude Modulation.

QM Quadrature Modulation. Modulación en cuadratura, en este tipo de modulación las señales tienen un defasamiento de 90° entre ellas.

QPSK Quadrature Phase Shift Key.

RARC Regional Administrative Radio Conference. Comité regulador en materia de telecomunicaciones para la región 2

Relación de pantalla Es la relación numérica entre el ancho y la altura de la pantalla.

RF Siglas de Radio Frecuencia.

RHCP Right Hand Clockwise Polarization. Polarización circular derecha.

SCPC Single Carrier Per Channel. Canal único por portadora.

SCT Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Secretaría encargada de regular en materia de telecomunicaciones en México.

SDTV Standar Definition Television. Televisión de definición estándar, sistemas PAL, SECAM y NTSC.

SECAM Système Electronique Couleur Avec Memoire.

SES Sociedad Europea de Satélites.

SHF Super High Frequency. Ver figura 1.9.

SI Sistema de Información.

SIF Source Intermediate Format.

SMATV Satelite Master Antenna Television.

SMPTE Society of Motion Picture and Television Engineers.

SNR Signal to Noise Ratio. Relación señal a ruido.

SSPA Solid State Power Amplifier. Amplificador de estado sólido.

TCN Telecommunications Network.

TLT Test Loop Translator.

Tinte Atributo de un color que es función de las longitudes de onda de la energía luminosa contenida en él, (longitud de onda dominante).

TVRO Television Receive-Only.

TxP Transponedor.

TWTA Traveling Wave Tube Amplifier. Amplificador con tubo de ondas progresivas.

UIT Unión Internacional de Telecomunicaciones.

UHF Ultra High Frequency. Ver figura 1.9

VHF Very High Frequency. Ver figura 1.9

VHS Video Home System.

VLF Very Low Frequency. Ver figura 1.9

VLSI Very Large Scale Integration.

VOD Video On Demand. Video bajo demanda.

WARC World Administrative Radio Conference. Comité regulador en materia de telecomunicaciones en las regiones 1 y 3.

Apéndice 2

La siguiente tabla muestra la asignación de frecuencias para los canales de televisión. La tabla aparece en la Norma Oficial Mexicana NOM-03-SCT1-93 que fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 15 de noviembre de 1993.

Frecuencias correspondientes a los canales de televisión

Canal	Banda de Frecuencias MHz	Portadora de video MHz	Portadora de color MHz	Portadora de audio MHz
2	54-60	55.25	58.83	59.75
3	60-66	61.25	64.83	65.75
4	66-72	67.25	70.83	71.75
5	76-82	77.25	80.83	81.75
6	82-88	83.25	86.83	87.75
7	174-180	175.25	178.83	179.75
8	180-186	181.25	184.83	185.75
9	186-92	187.25	190.83	191.75
10	192-198	193.25	196.83	197.75
11	198-204	199.25	202.83	203.75
12	204-210	205.25	208.83	209.75
13	210-216	211.25	214.83	215.75
14	470-476	471.25	474.83	475.75
15	476-485	477.25	480.83	481.75
16	482-488	483.25	486.83	487.75
17	488-494	489.25	492.83	493.75
18	494-500	495.25	498.83	499.75
19	500-506	501.25	504.83	505.75
20	506-512	507.25	510.83	511.75
21	512-518	513.25	516.83	517.75
22	518-524	519.25	522.83	523.75
23	524-530	525.25	528.83	529.75
24	530-536	531.25	534.83	535.75
25	536-542	537.25	540.83	541.75
26	542-548	543.25	546.83	547.75
27	548-554	549.25	552.83	553.75
28	554-560	555.25	558.83	559.75
29	560-566	561.25	564.83	565.75
30	566-572	567.25	570.83	571.75
31	572-578	573.25	576.83	577.75

32	578-584	579.25	582.83	583.75
33	584-590	585.25	588.83	589.75
34	590-596	591.25	594.83	595.75
35	596-602	597.25	600.83	601.75
36	602-608	603.25	606.83	607.75
37	608-614	609.25	612.83	613.75
38	614-620	615.25	618.83	619.75
39	620-626	621.25	624.83	625.75
40	626-632	627.25	630.83	631.75
41	632-638	633.25	636.83	637.75
42	638-644	639.25	642.83	643.75
43	644-650	645.25	648.83	649.75
44	650-656	651.25	654.83	655.75
45	656-662	657.25	660.83	661.75
46	662-668	663.25	666.83	667.75
47	668-674	669.25	672.73	673.75
48	674-680	675.25	678.83	679.75
49	680-686	681.25	684.83	685.75
50	686-692	687.25	690.83	691.75
51	692-698	693.25	696.83	697.75
52	698-704	699.25	702.83	703.75
53	704-710	705.25	708.83	709.75
54	710-716	711.25	714.83	715.75
55	716-722	717.25	720.83	721.75
56	722-728	723.25	726.83	727.75
57	728-734	729.25	732.83	733.75
58	734-740	735.25	738.83	739.75
59	740-746	741.25	744.83	745.75
60	746-752	747.25	750.83	751.75
61	752-758	753.25	756.83	757.75
62	758-764	759.25	762.83	763.75
63	764-770	765.25	768.83	769.83
64	770-776	771.25	774.83	775.83
65	776-782	777.25	780.83	781.83
66	782-788	783.25	786.83	787.83
67	788-794	789.25	792.83	793.83
68	794-800	792.25	798.83	799.75
69	800-806	801.25	804.83	805.75

Apéndice 3

Cálculo de las tasas de bits para diferentes formatos de video en componentes

- Formato 4:4:4

Y: 858 muestras/linea x 525 líneas/cuadro x 30 cuadros/ seg x 10 bits/muestra =135 Mbps

R-Y: 858 muestras/linea x 525 líneas/cuadro x 30 cuadros/ seg x 10 bits/muestra =135 Mbps

B-Y: 858 muestras/linea x 525 líneas/cuadro x 30 cuadros/ seg x 10 bits/muestra =135 Mbps

Total 405 Mbps.

- Calidad estudio D-1 (Formato 4:2:2).

Y: 858 muestras/linea x 525 líneas/cuadro x 30 cuadros/ seg x 10 bits/muestra =135 Mbps

R-Y: 429 muestras/linea x 525 líneas/cuadro x 30 cuadros/ seg x 10 bits/muestra =67 Mbps

B-Y: 429 muestras/linea x 525 líneas/cuadro x 30 cuadros/ seg x 10 bits/muestra =67 Mbps

Total 270 Mbps.

Eliminando los pulsos de borrado y sincronización, sólo 720 de las 858 muestras por línea contienen información. En práctica se usan entre 704 y 720 muestras por línea. Lo mismo sucede con el número de líneas usándose entre 480 y 496 líneas por cuadro en vez de 525.

- Formato 4:2:2 reducido con 10 bits/muestra.

Y: 704 muestras/linea x 480 líneas/cuadro x 30 cuadros/ seg x 10 bits/muestra =101 Mbps

R-Y: 352 muestras/linea x 480 líneas/cuadro x 30 cuadros/ seg x 10 bits/muestra =50 Mbps

B-Y: 352 muestras/linea x 480 líneas/cuadro x 30 cuadros/ seg x 10 bits/muestra =50 Mbps

Total 201 Mbps

Para el manejo de imágenes en el estudio se utilizan 10 bits/muestra, esto protege a las imágenes de la posible degradación provocada por los equipos de producción. Cuando se va a transmitir la imagen se utilizan sólo 8 bits/muestra, esta reducción representa una reducción despreciable en la calidad de las imágenes.

- Formato 4:2:2 reducido con 8 bits/muestra.

Y: 704 muestras/línea x 480 líneas/cuadro x 30 cuadros/seg x 8 bits/muestra =81 Mbps
R-Y: 352 muestras/línea x480 líneas/cuadro x 30 cuadros/seg x 8 bits/muestra=40Mbps
B-Y: 352 muestras/línea x480 líneas/cuadro x 30 cuadros/seg x 8 bits/muestra=40 Mbps

Total 161 Mbps.

- Formato 4:2:0 (la mitad de la resolución vertical).

Y: 704 muestras/línea x 480 líneas/cuadro x 30 cuadros/seg x 8 bits/muestra =81 Mbps
R-Y: 352 muestras/línea x240 líneas/cuadro x 30 cuadros/seg x 8 bits/muestra=20 Mbps
B-Y: 352 muestras/línea x240 líneas/cuadro x 30 cuadros/seg x 8 bits/muestra=20 Mbps

Total 121 Mbps

- Sistema SIF (Standar Input Format).

Y: 352 muestras/línea x 240 líneas/cuadro x 30 cuadros/seg x 8 bits/muestra = 20 Mbps
R-Y: 176 muestras/línea x120 líneas/cuadro x 30 cuadros/seg x 8 bits/muestra=5 Mbps
B-Y: 176 muestras/línea x120 líneas/cuadro x 30 cuadros/seg x 8 bits/muestra=5 Mbps

Total 30 Mbps

Apéndice 4

Cálculos de enlace y calidad de recepción

A.4.1 Cálculos de enlace para video analógico en la banda C

Enlace de subida:

Estación transmisora: México D.F.	Lat (l): 19.24° N	Long(Lo): 99.01° O
Satélite	Solidaridad 1 109.2° Oeste	
Frecuencia de transmisión	6.025GHz (TxP 3N)	$\lambda = 0.0497$ m
Antena transmisora: Orientación Diámetro (D) Eficiencia (η) Ganancia (G_T)	Cassegrain Azimut 208.61° 11 m. 0.55	Elevación: 64.6° 54.23 dB
Ángulo de media potencia ($\theta_{0.3dB}$)	0.31°	
Potencia de transmisión (P_T): Mínima (cielo despejado) Máxima (con lluvia)	14.42 W 20.37 W	11.59 dBW 13.09 dBW
Perdida por alimentadores Back Off de salida PIRE de transmisión: Sin lluvia Con lluvia		1 dB 0 dB 73.5 dB 64.82 dB 66.32 dB
Densidad de flujo de saturación (ϕ)		-97.6 dBW/m ²
Pérdidas por espacio libre (L_{sp})		199.25 dB
Atenuación por gases a 64.6° (L_{atm})		0.03 dB
Atenuación por apuntamiento (L_{apunt})		0.2 dB
Atenuación por lluvia (99.9% de disponibilidad) (L_{lluvia})		1.5 dB
Video	NTSC	
Modulación	F.M.	
Ancho de banda	36 MHz	
G/T Satélite		8.1 dB/K
Constante de Boltzman (K)	1.38×10^{-23}	-228.06 dB
Polarización	Horizontal	
C/No en el satélite		102.04 dB/Hz

Enlace de bajada:

Estación receptora Monterrey	Lat: 25.40 Norte Long: 100.19 Oeste	
Satélite Órbita	Solidaridad 2 109.2 Oeste	
Frecuencia de transmisión	3.86 GHz (TxP 3N)	$\lambda=0.0789\text{m}$
Antena receptora: Orientación Diámetro (D) Eficiencia (η) Ganancia (G_R) Ángulo de media potencia ($\theta_{1/2}$)	Antena parabólica Azimut 200.29° 2m 0.58 2.76°	Elevación 58.23° 35.65 dB
Back Off de salida		0 dB
PIRE de transmisión		43.3 dBW
Pérdidas por espacio libre (L_f)		195.3 dB
Atenuación por gases (L_{atm})		0.01 dB
Atenuación por apuntamiento (L_{apunt})		0.7 dB
Atenuación por lluvia (L_{lluvia}) (99.9% del tiempo)		1 dB
Modulación	F.M.	
Ancho de banda base del video	4.2 MHz	
Ancho de banda del TxP.	36 MHz	
G/T de recepción		18 dB/K
Constante de Boltzman (K)		-228.6 dB
Polarización	Vertical	
C/N ₀ en el receptor Sin lluvia Con lluvia		93.89 dB/Hz 92.89 dB/Hz
C/N ₀ total Sin lluvia Con lluvia		93.27 dB/Hz 92.39 dB/Hz
C/N		17.47 dB
S/N		50.71 dB
Calidad de imagen	Excelente (Norma UIT)	

Cálculos de enlace para video analógico en la banda C

Enlace de subida:

- Longitud de onda de subida:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m}}{6.025 \times 10^9 \text{ m}} = 0.04979 \text{ m}$$

- Ganancia de la antena Cassegrain:

$$G_T = \eta \cdot \left(\frac{\pi \cdot D}{\lambda} \right)^2 = 0.55 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 11 \text{ m}}{0.04979 \text{ m}} \right)^2 = 264922.83$$

$$G_{T \text{ dB}} = 10 \log G_T = 10 \log(264922.83) = 54.23 \text{ dB}$$

- Angulo de media potencia:

$$\theta_{-3 \text{ dB}} = 70 \frac{\lambda}{D} = 70 \frac{0.04979 \text{ m}}{11 \text{ m}} = 0.31^\circ$$

- Pérdidas por espacio libre:

$$\left(\frac{R}{R_o} \right)^2 = 1 + 0.42 \cdot (1 - \cos I \cos L) = 1 + 0.42 \cdot (1 - \cos 19.24^\circ \cdot \cos(109.2^\circ - 99.01^\circ)) = 1.029$$

$$L_s = \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot R_o}{\lambda} \right)^2 \left(\frac{R}{R_o} \right)^2 = \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot 35,786,000 \text{ m}}{0.04979 \text{ m}} \right)^2 \cdot 1.029 = 8.42 \times 10^{19}$$

$$L_{s \text{ dB}} = 10 \log L_s = 10 \log 8.42 \times 10^{19} = 199.25 \text{ dB}$$

Cálculo del $\left(\frac{C}{N_o} \right)$ de subida:

Area efectiva:

$$A_{\text{eff}} = 10 \log \frac{\lambda^2}{4 \cdot \pi} = 10 \log \frac{0.0497^2}{4 \cdot \pi} = -37.06 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_s = \varphi_s + A_o + \frac{G}{T} - K = -97.6 - 37.06 + 8.1 + 228.06 = 102.04 \text{ dB} / \text{Hz}$$

- Cálculo del PIRE de transmisión:

$$PIRE = \varphi_s + A_o + L_s + L_{atm} + L_{apun} + L_{lluvia}$$

Sin lluvia

$$PIRE = -97.6 - 37.06 + 199.25 + 0.03 + 0.2 = 64.82 \text{ dB}$$

Con lluvia

$$PIRE = -97.6 - 37.06 + 199.25 + 0.03 + 0.2 + 1.5 = 66.32 \text{ dB}$$

- Cálculo de la potencia del HPA:

Sin lluvia:

$$P_T = PIRE - G_T + L_{atm} = 64.82 - 54.23 + 1 = 11.59 \text{ dBW}$$

Con lluvia:

$$P_T = PIRE - G_T + L_{atm} = 66.32 - 54.23 + 1 = 13.09 \text{ dBW}$$

Enlace de bajada:

- Longitud de onda de subida:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m}}{3.8 \times 10^9 \text{ m}} = 0.0789 \text{ m}$$

- Ganancia de la antena offset:

$$G_R = \eta \cdot \left(\frac{\pi \cdot D}{\lambda}\right)^2 = 0.58 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 2 \text{ m}}{0.0789 \text{ m}}\right)^2 = 3678.18$$

$$G_{RdB} = 10 \log(3678.18) = 35.65 \text{ dB}$$

- Angulo de media potencia:

$$\theta_{-3dB} = 70 \frac{\lambda}{D} = 70 \frac{0.0789 \text{ m}}{2 \text{ m}} = 2.76^\circ$$

- Pérdidas por espacio libre:

$$\left(\frac{R}{R_o}\right)^2 = 1 + 0.42 \cdot (1 - \cos l \cos L) = 1 + 0.42 \cdot (1 - \cos 25.4^\circ \cdot \cos(109.2^\circ - 100.19^\circ)) = 1.045$$

$$L_B = \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot R_o}{\lambda}\right)^2 \left(\frac{R}{R_o}\right)^2 = \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot 35,786,000m}{0.0789m}\right)^2 \cdot 1.045 = 3.39 \times 10^{19}$$

$$L_{BdB} = 10 \log 3.39 \times 10^{19} = 195.3dB$$

- Cálculo del $\left(\frac{C}{N_o}\right)_b$ de bajada:

Pérdidas totales a la bajada:

$$L_{tot} = L_B + L_{atm} + L_{opunt} + L_{lluvia}$$

Sin lluvia:

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_b = PIRE_{sate} + \frac{G}{T} - K - L_{tot} = 43.3 + 18 + 228.6 - 196.01 = 93.89dB / Hz$$

Con lluvia:

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_b = PIRE_{sate} + \frac{G}{T} - K - L_{tot} = 43.3 + 18 + 228.06 - 197.01 = 92.89dB / Hz$$

- Cálculo del $\left(\frac{C}{N_o}\right)_T$ total

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_T^{-1} = \left(\frac{C}{N_o}\right)_s^{-1} + \left(\frac{C}{N_o}\right)_b^{-1}$$

Sin lluvia:

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_r = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{\text{anti log } 10.204} + \frac{1}{\text{anti log } 9.389}} \right) = 93.27 \text{ dB / Hz}$$

Con lluvia:

$$\bullet \left(\frac{C}{N_o}\right)_r = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{\text{anti log } 10.204} + \frac{1}{\text{anti log } 9.289}} \right) = 92.39 \text{ dB / Hz}$$

- Cálculo del $\left(\frac{C}{N}\right)$ para el peor caso (con lluvia):

$$\left(\frac{C}{N}\right) = \left(\frac{C}{N_o}\right)_r - 10 \log AB_{IF} = 92.39 - 74.91 = 17.47 \text{ dB}$$

- Cálculo del $\left(\frac{S}{N}\right)$

$$\text{Índice de modulación } m = \frac{\Delta f}{f_v} = \frac{10.75}{4.2} = 2.55$$

$$\left(\frac{S}{N}\right) = \left(\frac{C}{N}\right) + 10 \log_{10} [3m^2(1+m)] + FM.$$

De acuerdo a la tabla 1.5 el factor de mejoramiento FM

$$\left(\frac{S}{N}\right) = 17.47 + 10 \log_{10} [3(2.55)^2(1+2.55)] + 14.8 = 50.71 \text{ dB}$$

De acuerdo a la tabla 1.6 el valor anterior corresponde a una calidad excelente de imagen.

A.4.2 Cálculos de enlace para el servicio Sky utilizando el Solidaridad 2

Enlace de subida:

Estación transmisora: México D.F.	Lat (l): 19.24° Norte Long(Lo): 99.01° Oeste	
Satélite Orbita	Solidaridad 2 113.0° Oeste	
Frecuencia de transmisión	14 GHz	$\lambda = 0.0214 \text{ m}$
Antena transmisora: Orientación Diámetro (D) Eficiencia (η) Ganancia (G_T) Ángulo de media potencia ($\theta_{-3\text{dB}}$)	Cassegrain Azimut 217.09° 13 m. 0.55 0.115°	Elevación: 62.34° 63.01 dB
Potencia de transmisión (P_T): Mínima (cielo despejado) Máxima (con lluvia) Pérdida por alimentadores Back Off de salida PIRE de transmisión: Sin lluvia Con lluvia	1 W 3.92 W	-0.37 dBW 5.93 dBW 1 dB 0 dB 73.5 dB 61.64 dB 67.94 dB
Densidad de flujo de saturación (ϕ)		-100.73 dBW/m ²
Pérdidas por espacio libre (L_s)		206.59 dB
Atenuación por gases a 62.34° (L_{atm})		0.06 dB
Atenuación por apuntamiento (L_{apunt})		0.3 dB
Atenuación por lluvia (99.9% de disponibilidad) (L_{lluvia})		6.3 dB
FEC:	Reed Solomon (204,188) y Cod. Convolutacional variable	
Modulación	QPSK	
Velocidad de transmisión (R)	84.375 Mbps	
Ancho de banda	54 MHz	
G/T Satélite		7.73 dB/K
Constante de Boltzman (K)	1.38×10^{-23}	-228.06 dB
Polarización	Vertical	
Factor de roll off	0.35	
C/No en el satélite		90.86 dB/Hz

Enlace de bajada:

Estación receptora Monterrey	Lat: 25.40 Norte Long: 100.19 Oeste	
Satélite Órbita	Solidaridad 2 113.0 Oeste	
Frecuencia de transmisión	12 GHz	$\lambda=0.025\text{m}$
Antena receptora: Orientación Diámetro (D) Eficiencia (η) Ganancia (G_{PL}) Ángulo de media potencia ($\theta_{-3\text{dB}}$)	Antena offset. Azimut 207.93° 70 cm 0.65 2.5°	Elevación 57.02° 37.01 dB
Back Off de salida		0 dB
PIRE de transmisión		50.90 dBW
Pérdidas por espacio libre (L_n)		205.31 dB
Atenuación por gases (L_{atm})		0.127 dB
Atenuación por apuntamiento (L_{apunt})		0.4 dB
Atenuación por lluvia (L_{lluvia}) (99.9% del tiempo)		1.5 dB
FEC	Reed Solomon (204,188) y Cod. Convolutcional variable	
Modulación	QPSK	
Velocidad de transmisión (R)	84.375 Mbps	
Ancho de banda	54 MHz	
G/T de recepción		15 dB/K
Constante de Boltzman (K)		-228.6 dB
Polarización	Horizontal	
Factor de roll off	0.35	
C/N ₀ en el receptor Sin lluvia Con lluvia		88.123 dB/Hz 86.62 dB/Hz
C/N ₀ total Sin lluvia Con lluvia		86.269 dB/Hz 85.23 dB/Hz
Eb/No requerida		
Eb/No total		Ver tabla A4.1
Margen		

Cálculos de enlace para el sistema SKY utilizando el Solidaridad 2.

Enlace de subida:

- Longitud de onda de subida:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m}}{14 \times 10^9 \text{ m}} = 0.02142 \text{ m}$$

- Ganancia de la antena Cassegrain:

$$G_T = \eta \cdot \left(\frac{\pi \cdot D}{\lambda} \right)^2 = 0.55 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 13 \text{ m}}{0.02142 \text{ m}} \right)^2 = 1999448.4$$

$$G_{T_{dB}} = 10 \log G_T = 10 \log(1999448.4) = 63.01 \text{ dB}$$

- Angulo de media potencia:

$$\theta_{-3dB} = 70 \frac{\lambda}{D} = 70 \frac{0.02142 \text{ m}}{13 \text{ m}} = 0.115^\circ$$

- Pérdidas por espacio libre:

$$\left(\frac{R}{R_0} \right)^2 = 1 + 0.42 \cdot (1 - \cos l \cos L) = 1 + 0.42 \cdot (1 - \cos 19.24^\circ \cdot \cos(113^\circ - 99.01^\circ)) = 1.035$$

$$L_s = \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot R_0}{\lambda} \right)^2 \left(\frac{R}{R_0} \right)^2 = \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot 35,786,000 \text{ m}}{0.02142 \text{ m}} \right)^2 \cdot 1.035 = 4.56 \times 10^{20}$$

$$L_{s_{dB}} = 10 \log L_s = 10 \log 4.56 \times 10^{20} = 206.59 \text{ dB}$$

Cálculo del $\left(\frac{C}{N_o} \right)$ de subida:

Area efectiva:

$$A_{o_{dB}} = 10 \log \frac{\lambda^2}{4 \cdot \pi} = 10 \log \frac{0.0214^2}{4 \cdot \pi} = -44.38 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_s = \varphi_s + A_o + \frac{G}{T} - K = -100.73 - 44.38 + 7.73 + 228.06 = 90.86 \text{ dB / Hz}$$

- Cálculo del PIRE de transmisión:

$$PIRE = \varphi_s + A_o + L_S + L_{atm} + L_{apun} + L_{lluvia}$$

Sin lluvia

$$PIRE = -100.73 - 44.38 + 206.59 + 0.06 + 0.03 = 61.64 \text{ dB}$$

Con lluvia

$$PIRE = -100.73 - 44.38 + 206.59 + 0.06 + 0.03 + 6.3 = 67.94 \text{ dB}$$

- Cálculo de la potencia del HPA:

Sin lluvia:

$$P_T = PIRE - G_T + L_{atm} = 61.64 - 63.01 + 1 = -0.37 \text{ dBW}$$

Con lluvia:

$$P_T = PIRE - G_T + L_{atm} = 67.94 - 63.01 + 1 = 5.93 \text{ dBW}$$

Enlace de bajada:

- Longitud de onda de subida:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m}}{12 \times 10^9 \text{ m}} = 0.025 \text{ m}$$

- Ganancia de la antena offset:

$$G_R = \eta \cdot \left(\frac{\pi \cdot D}{\lambda}\right)^2 = 0.65 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 0.7 \text{ m}}{0.025 \text{ m}}\right)^2 = 5029.54$$

$$G_{RdB} = 10 \log(5029.54) = 37.01 \text{ dB}$$

- Angulo de media potencia:

$$\theta_{-3dB} = 70 \frac{\lambda}{D} = 70 \frac{0.025 \text{ m}}{0.7 \text{ m}} = 2.5^\circ$$

- Pérdidas por espacio libre:

$$\left(\frac{R}{R_o}\right)^2 = 1 + 0.42 \cdot (1 - \cos l \cos L) = 1 + 0.42 \cdot (1 - \cos 25.4^\circ \cdot \cos(113^\circ - 100.19^\circ)) = 1.05$$

$$L_B = \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot R_o}{\lambda}\right)^2 \left(\frac{R}{R_o}\right)^2 = \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot 35,786,000m}{0.025m}\right)^2 \cdot 1.05 = 3.39 \times 10^{20}$$

$$L_{BdB} = 10 \log 4.56 \times 10^{20} = 205.31 dB$$

- Cálculo del $\left(\frac{C}{N_o}\right)_b$ de bajada:

Pérdidas totales a la bajada:

$$L_{tot} = L_B + L_{atm} + L_{apunt} + L_{lluvia}$$

Sin lluvia:

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_b = PIRE_{sate} + \frac{G}{T} - K - L_{tot} = 50.9 + 15 + 228.06 - 205.837 = 88.123 dB / Hz$$

Con lluvia:

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_b = PIRE_{sate} + \frac{G}{T} - K - L_{tot} = 50.9 + 15 + 228.06 - 207.34 = 86.62 dB / Hz$$

- Cálculo del $\left(\frac{C}{N_o}\right)_T$ total

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_T^{-1} = \left(\frac{C}{N_o}\right)_b^{-1} + \left(\frac{C}{N_o}\right)_b^{-1}$$

Sin lluvia:

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_r = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{\text{anti log } 9.086} + \frac{1}{\text{anti log } 8.8123}} \right) = 86.269 \text{ dB} / \text{Hz}$$

Con lluvia:

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_r = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{\text{anti log } 9.086} + \frac{1}{\text{anti log } 8.662}} \right) = 85.23 \text{ dB} / \text{Hz}$$

- Cálculo de la $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)$:

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right) = \left(\frac{C}{N_o}\right) - 10 \log R$$

Sin lluvia:

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right) = 86.269 \text{ dB} / \text{Hz} - 10 \log(84.375 \text{ Mbps}) = 7.006 \text{ dB}$$

Con lluvia:

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right) = 85.23 \text{ dB} / \text{Hz} - 10 \log(84.375 \text{ Mbps}) = 5.96 \text{ dB}$$

En la tabla A4.1 se muestran los valores de $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)$ requeridos, según el proyecto de recomendación UIT-R (10-11S/XW) y el documento de la ETSI ETS 300 421, para el estándar DVB con distintos códigos convolucionales, en comparación con los valores de $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)$ obtenidos para el enlace anterior.

Tabla A4.1 Niveles de operación requeridos para el sistema DVB.

Código Convolucional Seleccionado	$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{req}$ dB	$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)$ dB sin lluvia	Margen en dB sin lluvia	$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)$ dB con lluvia	Margen en dB con lluvia
1/2	4.5	7.006	2.506	5.96	1.46
2/3	5.0	7.006	2.006	5.96	0.96
3/4	5.5	7.006	1.506	5.96	0.46
5/6	6.0	7.006	1.006	5.96	-0.04
7/8	6.4	7.006	0.606	5.96	-0.44

Nota: Los valores de $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)$ requeridos son los necesarios para obtener una recepción CLE (Cuasi Libre de Errores) en la cadena MPEG-2 a la salida del demultiplexor, esto corresponde a una tasa de bit en error de entre 10^{10} y 10^{11} (menos de un error sin corregir por hora).

La tabla A4.2 muestra la velocidad de bits (Ru) útil después de quitar la redundancia de los códigos interno y externo.

Tabla A4.2 Capacidad de transmisión de un transpondedor e 54 MHz

BW MHz	Rs (BW/Rs= 1.28) Mbauds/s	Ru con código de 1/2 Mbps	Ru con código de 2/3 Mbps	Ru con código de 3/4 Mbps	Ru con código de 5/6 Mbps	Ru con código de 7/8 Mbps
54	42.18	38.9	51.8	58.3	64.8	68.0

Bibliografía.

- Roddy Dennis, Satellite communications, McGraw-Hill 2a. Edición 1995.
- Collin Robert E, Antennas and Radiowave Propagation, McGraw-Hill, 1985.
- Benson Blair K y Whitaker Jerry, Television Engineering Handbook, McGraw-Hill Inc. , 1992
- Jackson K.B., T.V. and Video Enginners Reference Book G.B. Townsend, Butterworth, Heineman Ltd Gran Bretaña. 1994.
- King G.J. ,Televisión en Color, Serie Manuales Prácticos. Editorial Alhambra España 1981.
- Tirró Sebastian, Satellite Communication Systems Design, Plenum Publishing Corporation 1993 New York.
- Maral G. y Bousquet M. ,Satellite Communications Systems, Techniques and Technology. Editorial Wiley. 1993.
- Solari Stephen J., Digital Video and Audio Compression, Mc Graw Hill, 1997
- Sklar Bernard, Digital Communications, Fundamental and Applications, Prentice Hall 1998.
- Neri Vela Rodolfo, Satélites de Comunicaciones, McGraw-Hill, México1989.
- Maddocks M.C.D. y Smith M.S., "Flat Plate steerable antennas for satellite communications and broadcast reception", IEE Proceedings-H Vol.138, No.2 Abril 1991.
- Henderson A. y James J.R., "Low-cost flat-plate array with squinted beam for DBS reception". IEE Proceedings. Vol. 134, Pt. H, No.6, Diciembre 1987.
- Cominetti M, Mignone V, Morello A, y Visintin M., "European System for Digital Multi-Programme Television By Satellite", IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 41, No.2, Junio 1995.

-
- Karam Georges y Sari Hikmet, "Variable Symbol-Rate Demodulators for Cable and Satellite TV Broadcasting", IEEE Transactions on Broadcasting, Vol.42, No.2, Junio 1996.
 - Sablatash Mike, "Transmission of All-digital Advanced Television: State of the Art and Future Directions", IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 40. No.2, Junio 1994.
 - Colzi Enrico y Elia Carlo, "Skyplex: Distributed Up-link for Digital Television via Satellite", IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 42. No.4, Diciembre 1996.
 - "The Monitoring of Analog and Digital Program Signals in DBS Systems", IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 42. No.2, Junio 1996.
 - Gaudenzi Riccardo, Elia Carlo, y Viola Roberto, "Analysis of Satellite Broadcasting Systems for Digital Television". IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 11. No.1 Enero 1993.
 - "Sistemas de transmisión digital y multiprograma en servicios de televisión, sonido y datos mediante satélites que funcionan en la gama de frecuencias 11/12 GHz.". Proyecto de recomendación UIT-R (10-11S/XW), 23 de Junio de 1995.
 - "Especificaciones y requerimientos para la instalación y operación de estaciones de radiodifusión de televisión nomocroma y a color (bandas VHF y UHF)", Norma Oficial Mexicana, NOM-03-SCT-93, Diario Oficial de la Federación, 15 de Noviembre de 1993.
 - "Especificaciones y requerimientos para la instalación y operación de sistemas de televisión por cable", Norma Oficial Mexicana NOM-05-SCT1-93, Diario Oficial de la Federación, 17 de Noviembre de 1993.
 - "Fundamentos de Televisión Digital", Centro de Investigaciones y Desarrollo de Tecnología Digital CITEDI 1997.
 - "VI Curso Internacional en Telecomunicaciones, Modulo 2: Telecomunicaciones Via Satélite", Facultad de Ingeniería U.N.A.M. División de Educación Continua.
 - "Sistema de Satélites Mexicanos Solidaridad", Manual Técnico 6a. Edición, Telecomm, Telecomunicaciones de México.
-